

**ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO SOBRE EL USO  
DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ILUMINACIÓN  
EN DOS AUTOSERVICIOS**

**David Marcelo García Reyes**

**Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz**

**Proyecto de Grado**

**Director: Msc. Janett Barbosa Urbano**

**Escuela Colombiana de Carreras Industriales, ECCI  
Facultad de Ingeniería  
Coordinación de Mecánica  
Bogotá  
2014**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá

**Ing. Fernando Soler López**  
**Rector**

**Ing. Gilma Flórez**  
**Vicerrectora Académica**

**Ing. José Fernando López**  
**Vicerrector de investigación**

**Ing. Luisa Hincapié**  
**Secretaria General**

**Ing. Mauricio Veloza**  
**Decano de Ingeniería**

**Ing. Carlos Alberto Cristancho R.**  
**Coordinador de Mecánica**

## **DEDICATORIA**

Inicialmente deseo dedicar este trabajo a Dios y a mis padres, quienes con su apoyo y comprensión he salido adelante porque ellos me motivan y me apoyan en todas las cosas que hago en mi diario vivir.  
Wilmar Giovanni Santamaría

Este trabajo lo dedico a mi familia en especial a mi madre quien siempre estuvo a mi lado y me ha llevado por el camino correcto. David Marcelo García

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo, el cual es un requisito para optar al título de Ingenieros Mecánicos expresan sus agradecimientos a:

Dios por brindarnos y concedernos la oportunidad de graduarnos como Ingenieros mecánicos llenándonos de amor, sinceridad, honestidad y siendo personas excelentes las cuales siempre gracias a él escogeremos el camino correcto.

Nuestra familia la cual nos apoya en todas aquellas cosas que nos hacen crecer como personas cada día.

A la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, por formarnos como personas, por enseñarnos a ser humanos en todas las circunstancias y en cada momento de nuestro diario vivir, a todas sus directivas, a los catedráticos, sus coordinadores y docentes por estar con nosotros, compartir, y enseñarnos lo bello de la vida, a ser personas y lo importante que somos para el futuro de un nuestro país.

A nuestra directora de tesis la Msc. Janett Barbosa Urbano, por su ayuda y disposición para el desarrollo de este trabajo.

## Contenido

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	11
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
JUSTIFICACIÓN .....	12
OBJETIVOS .....	13
1. GENERALIDADES .....	14
1.1 Antecedentes .....	14
1.1.1. Generación de energía a partir de fuentes renovables.....	14
1.2. Proyectos realizados .....	21
1.2.1. Referencias Escuela Colombiana de Carreras Industriales.....	21
1.2.2. Referentes Universidad Nacional de Colombia.....	22
1.2.3. Referentes Alta Ingeniería .....	23
2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	24
2.1. Definición .....	24
2.2. Zonas de radiación.....	24
2.3. Historia de la energía solar fotovoltaica.....	27
2.3.1. Aplicación a satélites espaciales .....	28
2.3.2. Energía solar fotovoltaica en la actualidad .....	29
2.3.3. Datos de posicionamiento del lugar de estudio.....	31
2.4. Conceptos básicos sobre energía solar fotovoltaica .....	33
2.5. Tipos de conducción en materiales .....	33
2.5.1. Materiales Conductores.....	33
2.4.2 Materiales semiconductores .....	33
2.4.3 Materiales aislantes .....	33
2.6. El efecto fotovoltaico .....	33
2.7. Tipos de células fotovoltaicas .....	34
2.7.1. Células de silicio monocristalino .....	34
2.7.2. Células de silicio poli cristalino .....	35
2.7.3. Células de capa delgada .....	35
2.8. Rendimiento energético.....	36
2.9. Elementos de un sistema de energía solar fotovoltaica.....	37
2.9.1. Células fotovoltaicas .....	38
2.9.2. Regulador .....	40
2.9.3. Batería o acumulador .....	41
2.9.4. Inversor .....	42

2.9.5.	Estructuras.....	43
2.9.6.	Factor de seguridad de la instalación.....	45
3.	DISEÑO DE OPCIONES PARA LOS AUTOSERVICIOS.....	46
3.1.	Información de consumo y costos.....	46
3.1.1.	Características de los autoservicios.....	47
3.2.	Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....	51
3.3.	Determinación del regulador.....	52
3.4.	Selección del acumulador.....	52
3.4.1.	Número máximo de días de autonomía.....	52
3.4.2.	La profundidad de descarga máxima de la batería ( <b><i>Pd</i></b> ).....	53
3.4.3.	Perdidas por rendimiento del acumulador ( <b><i>Pac</i></b> ).....	53
3.4.4.	Tensión de trabajo de la instalación (V).....	53
-	Otros dispositivos.....	54
3.4.5.	Calculo de la sección del cableado.....	54
3.5.	Selección de la estructura.....	55
3.1.	Opciones autoservicio COOPERMERCAR.....	63
3.2.1	Opción 1.....	63
3.2.2.	Opción 2.....	69
3.2.3.	Opción 3.....	74
3.2.	Opciones autoservicio SERVIMERCAR.....	80
3.2.1.	Opción 1.....	80
3.2.2.	Opción 2.....	86
3.2.3.	Opción 3.....	92
3.3.	Planos de distribución.....	99
4.	ANÁLISIS ECONOMICO.....	101
	ANEXOS.....	103
5.	CONCLUSIONES.....	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Central eléctrica Chivor municipio Santa María Boyacá [5].</i>	15
<i>Figura 2 Consumo de energía eólica en el mundo [7].</i>	16
<i>Figura 3 Energía geotérmica [8].</i>	17
<i>Figura 4 Biomasa a base de caña de azúcar [10].</i>	17
<i>Figura 5 Funcionamiento de una central eléctrica [12].</i>	18
<i>Figura 6 Irradiación solar en la superficie [3].</i>	19
<i>Figura 7 Sistema de energía fotovoltaica y sus componentes [15].</i>	20
<i>Figura 8 Sistema foto térmico pasivo [17].</i>	21
<i>Figura 9 Sistema foto térmico activo [18].</i>	21
<i>Figura 10. Mapa radiación solar en Colombia [25].</i>	25
<i>Figura 11. Radiaciones en la zona de Bogotá y alrededores [6].</i>	26
<i>Figura 12. Radiación en la zona de Bogotá [6].</i>	27
<i>Figura 13. Capacidad fotovoltaica acumulada mundial [28].</i>	28
<i>Figura 14 Mapa de radiación solar global [7].</i>	29
<i>Figura 15 Potencia acumulada en el mundo al 2010 [29].</i>	30
<i>Figura 16 Estructura átomo [3].</i>	33
<i>Figura 17 Ruptura de enlaces covalentes [3].</i>	34
<i>Figura 18 Célula de silicio monocristalino [31].</i>	35
<i>Figura 19 Célula de silicio policristalino [32].</i>	35
<i>Figura 20 Célula de capa delgada montada sobre sustrato flexible [33].</i>	36
<i>Figura 21. Balance energético de la célula fotovoltaica [3].</i>	37
<i>Figura 22 Célula fotovoltaica [3].</i>	39
<i>Figura 23 Esquema célula fotovoltaica materiales “p-n” [3].</i>	39
<i>Figura 24 Regulador [37].</i>	40
<i>Figura 25 Perfil de descarga de la batería [38].</i>	42
<i>Figura 26. Diodo BY PASS [39].</i>	45
<i>Figura 27 Ubicación geográfica localidad de San Cristóbal [41].</i>	48
<i>Figura 28. Autoservicio COOPERMERCAR</i>	48
<i>Figura 29. Autoservicio SERVIMERCAR</i>	49
<i>Figura 30. Esquema de distribución autoservicio COOPERMERCAR.</i>	49
<i>Figura 31. Esquema de distribución autoservicio SERVIMERCAR.</i>	50
<i>Figura 32 Área seleccionada para ubicar sistema energía fotovoltaica en COOPERMERCAR.</i>	50
<i>Figura 33. Área de instalación de módulos.</i>	51
<i>Figura 35. Estructura de los módulos.</i>	55
<i>Figura 36. Estructura para modulo fotovoltaico.</i>	55
<i>Figura 37. Carga distribuida en la estructura.</i>	56
<i>Figura 38 Diagrama de cuerpo libre elemento B.</i>	57
<i>Figura 39 Perfil plano.</i>	58
<i>Figura 40. Características perfil ASTM A-36 [44].</i>	58
<i>Figura 41. Diagrama cuerpo libre elemento AB.</i>	58
<i>Figura 42. Esquema de fuerzas a tornillo.</i>	60
<i>Figura 43. Diagrama de cuerpo libre tornillo A.</i>	60
<i>Figura 34. Triangulo para determinar la altura H.</i>	62
<i>Figura 44 Planos de distribución COOPERMERCAR.</i>	99
<i>Figura 45. Esquema eléctrico autoservicio SERVIMERCAR.</i>	100



## LISTA DE TABLAS

Tabla 5. Promedio anual por regiones en Colombia [32].....	26
Tabla 6 coordenadas de posicionamiento [33]. .....	31
Tabla 7. Radiación hora a hora (Wh/m <sup>2</sup> ) [33]. .....	31
Tabla 8 brillo solar periodo 1983-2012 [33]. .....	32
Tabla 1. Rendimiento energético de los diferentes tipos de células fotovoltaicas, modificada en Word [20]. .....	37
Tabla 2 radiación mensual .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3 Tensión de trabajo en función de la potencia instalada, modificada en Word [20]....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 1. Información de tornillo.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4. Porcentaje límite de tensión en el cableado de la instalación, modificada en Word [20]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9 Consumos y tiempo de uso y costos de autoservicio COOPERMERCAR. ....	46
Tabla 10 Consumos y tiempo de uso y costos de Autoservicio SERVIMERCAR. ....	47
Tabla 11 sustituciones de iluminación, Opción 1 .....	63
Tabla 12. Consumo de bombillos. ....	63
Tabla 13. Radiación mensual [2]. .....	64
Tabla 14 Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15. Ficha técnica batería [1].....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16. Ficha técnica regulador BlueSolar charge controller MPPT 150/70 [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17. Ficha técnica inversor [4]. .....	65
Tabla 19 sustituciones de iluminación, Opción 2 .....	69
Tabla 20 consumo con iluminación tipo LED .....	70
Tabla 21. Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22. Ficha técnica acumulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23. Ficha técnica regulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24 sustituciones de iluminación, Opción 3 .....	74
Tabla 1. Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 26. Ficha técnica acumulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 27. Ficha técnica regulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 28. Ficha técnica inversor [4]. .....	77
Tabla 29 sustituciones de iluminación, Opción 1 .....	80
Tabla 30 tabla consumos medios diarios de iluminación. ....	81
Tabla 31. Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 32. Ficha técnica acumulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 33. Ficha técnica regulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 34. Ficha técnica inversor [4]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 35 consumo bombillo led.....	84
Tabla 36 sustituciones de iluminación, Opción 2 .....	86
Tabla 37 consumos medios diarios de iluminación. ....	87
Tabla 38. Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 39. Ficha técnica acumulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 40. Ficha técnica regulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 41. Ficha técnica inversor [4]. .....	89
Tabla 42 consumo iluminación led.....	90
Tabla 43 sustituciones de iluminación, Opción 3 .....	92
Tabla 44 consumos medios diarios de iluminación. ....	93
Tabla 45. Ficha técnica panel fotovoltaico [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 46. Ficha técnica acumulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 47. Ficha técnica regulador [1]. .....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 48 consumo iluminación Led.....	96

## LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Ficha técnica modulo fotovoltaico Q-PEAK [1].</i>	<i>103</i>
<i>Anexo 3. Ficha técnica batería Mtek (12V100Ah) [1].</i>	<i>104</i>
<i>Anexo 4. Ficha técnica regulador BlueSolar charge controller MPPT 150/70 [1].</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 5. Ficha técnica inversor Vitron Phoenix [2].</i>	<i>106</i>
<i>Anexo 6. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V120AH) [1].</i>	<i>106</i>
<i>Anexo 7. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V70AH) [1].</i>	<i>107</i>
<i>Anexo 8. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V100AH) [1].</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 9. Ficha técnica inversor PST-150S-12A_24 [2].</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 10. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V155AH) [1].</i>	<i>109</i>
<i>Anexo 11. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V100AH) [1].</i>	<i>110</i>

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

***kW***: *Kilovatio*

**CPP**: colector solar de placa plana

**EPIA**: European Photovoltaic Industry Association

**GW**: Gigavatios

**TEDLAR**: (fluoruro polivinilo)

**MW**: Megavatios

**W/m<sup>2</sup>**: Vatios por metro cuadrado

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad en los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR, se presenta un alto consumo de energía convencional en la iluminación, puesto que estos componentes permanecen en funcionamiento todo el día.

Con este proyecto se plantea el estudio técnico y económico de energía fotovoltaica para los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR, mostrar la factibilidad sobre el uso de energía solar fotovoltaica en los dos establecimientos. Para llevar a cabo este estudio fue necesario abordar varios campos; entre ellos se destacan: El técnico, el cual sirve para realizar los cálculos de los diferentes componentes del sistema de energía solar fotovoltaica. El marco referencial, que ayuda a acentuar las ideas y las necesidades teniendo en cuenta la actualidad nacional en la implementación de energía solar fotovoltaica y por último el análisis económico, que es de gran importancia para la viabilidad del proyecto.

En la actualidad en los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR, se presenta un alto consumo de energía convencional en la iluminación, puesto que estos componentes permanecen en funcionamiento todo el día.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR ubicados al sur oriente de la ciudad de Bogotá, son establecimientos dedicados a la venta de víveres a las personas del común, están abiertos desde la mañana hasta la noche, razón por la cual se tienen altos consumos de energía, además de esto por los elementos que los componen: en caso de COOPERMERCAR se encuentran tres refrigeradores, una caja registradora, un televisor, seis cámaras y luminaria en los cuales tenemos 48 bombillos fluorescentes para el almacén, en el exterior 4 bombillos y dos más uno para el vestir y otro el baño, todos estos con un consumo de 22,519kWh y costo mensual de \$222.330,09. Para SERVIMERCAR compuesto por dos refrigeradores, una caja registradora, 10 bombillos fluorescentes en el almacén y un bombillo en la parte exterior con un consumo de 8,34kWh y un costo de \$83.229,39.

De acuerdo a lo anterior, este estudio se plantea para reducir el consumo, centrándose en la iluminación con energía fotovoltaica y reemplazando los bombillos fluorescentes por leds de los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué opciones de uso de energía fotovoltaica pueden contribuir en disminuir los costos en iluminación de los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR?

## JUSTIFICACIÓN

El ámbito nacional e internacional sobre el uso de energías renovables busca mayor eficiencia energética en todos sectores en la obtención de energía eléctrica con energías alternativas renovables, como la hídrica, eólica, geotérmica, biomasa, solar térmica, solar fotovoltaica, etc.

La energía fotovoltaica como punto específico de este estudio es una opción para lograr la eficiencia energética en los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR, en la iluminación disminuyendo costos, además de esto la innovación tecnológica (en la implementación del estudio) para lugares como los autoservicios.

Colombia es privilegiada por la posición geográfica en diferentes tipos de explotación de energías alternativas, una de estas la solar. Colombia está ubicado en la zona ecuatorial, lo que permite contar con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar. Este efecto puede durar las 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a nivel mundial, junto con el registrado en África. La radiación media es de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>, y el área con mejor recurso solar es la Península de la Guajira, con 6kWh/m<sup>2</sup> de radiación. De los 6 MW de energía solar instalados en Colombia (equivalente a aproximadamente 78,000 paneles solares), 57% está distribuido para aplicaciones rurales y 43 % para torres de comunicación y señalizaciones de tránsito [1].

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio técnico y económico sobre el uso de energía fotovoltaica en iluminación para los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el consumo y costo de energía eléctrica convencional en iluminación de los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR.
- Proponer opciones de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos para la iluminación en los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR.
- Realizar el análisis mecánico y económico de cada opción propuesta para cada autoservicio.

## 1. GENERALIDADES

En el desarrollo del siguiente capítulo, se va a tratar sobre las bases para empezar el desarrollo de este trabajo, haciendo un recuento histórico de la energía solar fotovoltaica, al igual una pequeña explicación de la utilización de los hidrocarburos, sus repercusiones al medio ambiente, pero también la generación de energía a partir de fuentes renovables; además se presentará el marco referencial de las ideas que se han desarrollado acerca de este tipo de energía, tanto en la Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI) y la Universidad Nacional de Colombia, se presentarán algunos estudios realizados sobre el uso de energía fotovoltaica para iluminación, que constituyen referentes teóricos importantes.

### 1.1 Antecedentes

A lo largo de la historia las personas buscan diferentes formas de ir de un lugar a otro, para cubrir esta demanda se empezó a utilizar fuentes de energía como el petróleo y sus derivados utilizándolos en sus transportes, el cual por este uso se está agotando las reservas, además este tipo de combustible como lo son los hidrocarburo genera una gran contaminación al medio ambiente, por la quema, que genera gases de efecto invernadero lo que está generando que el planeta se caliente, produciendo un deshielo y el nivel del agua en el mar suba, otra consecuencia es que en del planeta se presente alteraciones en el clima como sequias o inundaciones, para el control de esto se creó el protocolo de Kioto el cual establece las responsabilidades para la reducción de los gases efecto invernadero generado por la quema de estos combustibles.

Una opción para la disminución de esta contaminación es que optó por la generación de energía a partir de fuentes alternativas y renovables sin que le causaran mucho daño al ambiente esto con el fin de disminuir el consumo de petróleo y todos sus derivados y así mitigar los gases de efecto invernadero, una muy buena opción fue producción de energía eléctrica a partir de energía solar convirtiendo la radiación en cargas eléctricas que es el tema de estudio en este proyecto.

#### 1.1.1. *Generación de energía a partir de fuentes renovables.*

La utilización de energías renovables empieza a ser notable desde que se presentó la crisis del petróleo en 1973 en el cual los países productores no exportaban el hidrocarburo, esto hizo que se empezaran a utilizar más las energías alternativas para suplir con el consumo de la sociedad, esto genero una demanda hacia las energías renovables, y además una de las ventajas es que son amigables con el medio ambiente y una alternativa a este problema presente en la década de los 70. En la actualidad estos tipos de energía renovables han tomado fuerza ya se ha planteado en el acuerdo de Kioto el cual es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir sus emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Las emisiones totales de los países desarrollados deben reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5 % respecto a los niveles de 1990. Todas las naciones industrializadas a fin de cumplir con este acuerdo están generando energía amigable con el medio ambiente [2].



#### 1.1.1.1. *Energía hidráulica*

Tiene su origen en el ciclo del agua, generado por el sol.

El sol evapora el agua de los mares, lagos, etc. Esta agua cae en forma de lluvia y nieve en caso tal en los países donde hay estaciones, Colombia por su ubicación geográfica no sucede esto, esta cae a la tierra y vuelve a los mares donde el ciclo se reinicia.

La energía hidráulica se obtiene a partir de la energía potencial asociada a los saltos de agua debido a la diferencia de alturas entre dos puntos del río [3].

La energía hidráulica es el segundo recurso renovable más utilizado en el mundo. Colombia, debido a su situación privilegiada desde el punto de vista hidrológico, tiene un gran potencial para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos [4].



*Figura 1 Central eléctrica Chivor municipio Santa María Boyacá [5].*

#### 1.1.1.2. *Energía eólica.*

En la actualidad, la energía eólica, se considera una importante fuente de energía porque es una fuente de energía limpia que no genera contaminación y no daña el medio ambiente. Las grandes turbinas o aerogeneradores (especies de molinos de viento), se colocan en áreas abiertas donde se puede obtener una buena cantidad de viento. Y a través del movimiento capturado por un generador, se puede generar electricidad. En la actualidad, sólo el 1% de la energía generada en el mundo proviene de este tipo de fuente de energía eólica. Sin embargo, el potencial de explotación es grande. En la actualidad, la capacidad mundial de energía eólica de 238,4 GW (gigavatios) [6].

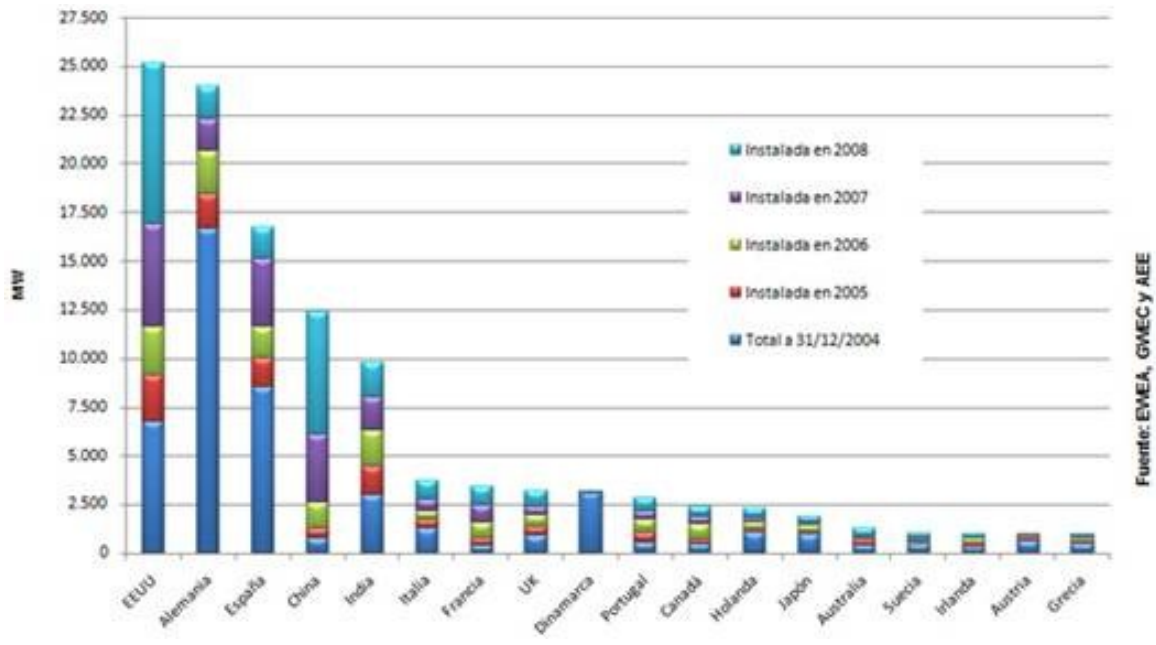


Figura 2 Consumo de energía eólica en el mundo [7].

Los países que generan más energía eólica son: China (62.700 megavatios), Estados Unidos (46.900 MW), Alemania (29.000 megavatios), España (21.600 MW), India (16.000 MW), Francia (6800 MW), Italia (6700 MW), Reino Unido (6500 MW), Canadá (5200 MW) y Portugal (4000 MW) [6].

### 1.1.1.3. Energía geotérmica

La energía geotérmica es la manifestación de la energía térmica acumulada en rocas o aguas que se encuentran a elevada temperatura en el interior de la tierra.

Para el aprovechamiento en zonas con condiciones térmicas especiales, por ejemplo las zonas volcánicas, se hace circular en ellas un fluido que transporta hasta la superficie la energía calorífica en forma de calor acumulado en las zonas calientes.

La energía generada en función de su temperatura (alta, media o baja) es aprovechada, bien para producir energía eléctrica, o bien para el calentamiento de agua y calefacción.

La energía geotérmica tiene la principal ventaja de que su impacto ambiental es mínimo, y tiene rendimientos que le permiten competir con el petróleo. Pero sus principales desventajas son que requieren de grandes inversiones y que los campos geotérmicos son relativamente escasos y muchas veces se ubican en zonas desfavorables [7].

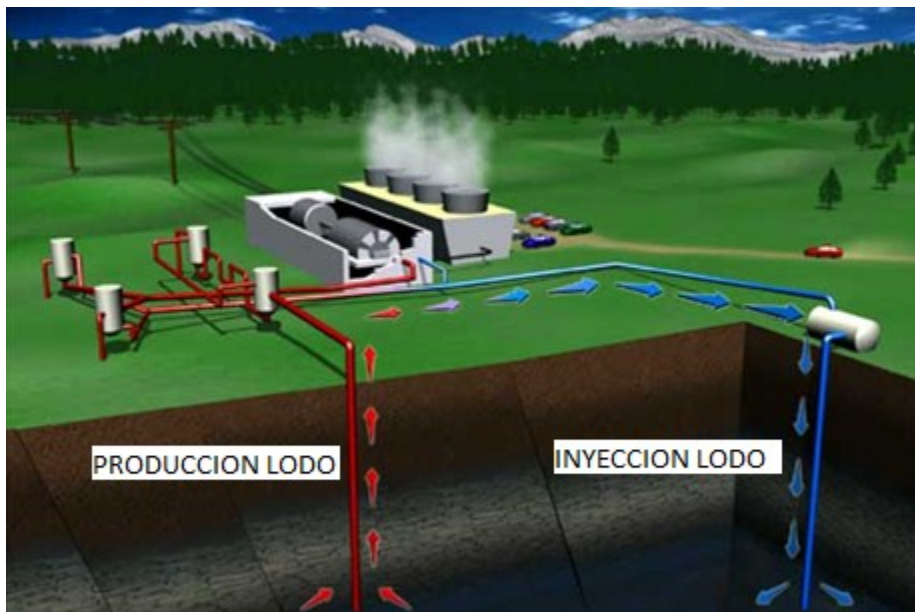


Figura 3 Energía geotérmica [8].

#### 1.1.1.4. Biomasa

Se conoce como biomasa a toda materia orgánica de origen vegetal o animal, y a la obtenida a partir de ésta mediante transformaciones naturales o artificiales.

Las plantas, y los animales a través de ellas, almacenan energía gracias a la fotosíntesis, que tiene lugar en presencia de la luz solar en combinación con agua, sales minerales y dióxido de carbono [9].

La utilización de biomasa en Latinoamérica se ve reflejada en Brasil que es el mayor productor de bioetanol a base de la transformación de la caña de azúcar, en Colombia quien es un país productor de caña de azúcar, pero no se han desarrollado esta tecnología y la inversión no es suficiente las plantas que se han hecho es a nivel piloto.



Figura 4 Biomasa a base de caña de azúcar [10].

### 1.1.1.5. Energía nuclear

La energía nuclear es la energía que se obtiene al manipular la estructura interna de los átomos. Se puede obtener mediante la división del núcleo (fisión nuclear) o la unión de dos átomos (fusión nuclear).

Esta se genera mediante un proceso en el que se desintegran los átomos de un material denominado uranio. La energía que libera el uranio al desintegrarse sus átomos produce calor con el que se hierve el agua que se encuentra en los reactores nucleares. Al hervir, el agua genera vapor con el que se mueven las turbinas que se encuentran dentro de los reactores, consiguiendo así producir electricidad, en la figura 5, se muestra un esquema de funcionamiento de generación de energía eléctrica por energía nuclear [11].

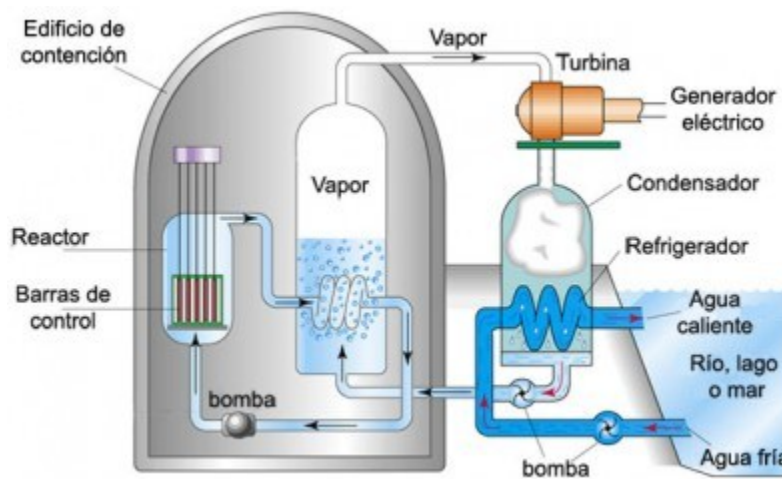


Figura 5 Funcionamiento de una central eléctrica [12].

### 1.1.1.6. Energía solar

El sol es una esfera de gas luminoso de 1.392.000 km. de diámetro que posee una masa 330.000 veces superior a la de la tierra. La energía que manifiesta proviene de las reacciones nucleares de conversión de hidrógeno en helio que tiene lugar en su núcleo a temperaturas cercanas a los catorce millones de grados. Esta materia gaseosa caliente es capaz de irradiar una temperatura efectiva de 6000°C. Se encuentra a una distancia de 149.590.000 kilómetros de la tierra y su constante solar, es decir, la intensidad media de radiación medida fuera de la atmósfera en un plano normal [13].

La radiación en el sol es  $63.450.720 \text{ W/m}^2$ . Si se supone el sol emite la radiación en todas las direcciones y se construye una esfera que llegue a la tierra, ósea de un radio de  $149,6 * 10^6 \text{ km}$  se podrá determinar la radiación solar recibida fuera de la atmosfera por la ley de Stefan-Boltzmann, sobre una superficie perpendicular a los rayos solares conocida como constante solar equivalente a  $1.353 \text{ W/m}^2$ , variable durante el año un  $\pm 3\%$  a causa de la elipticidad de la órbita terrestre [14].

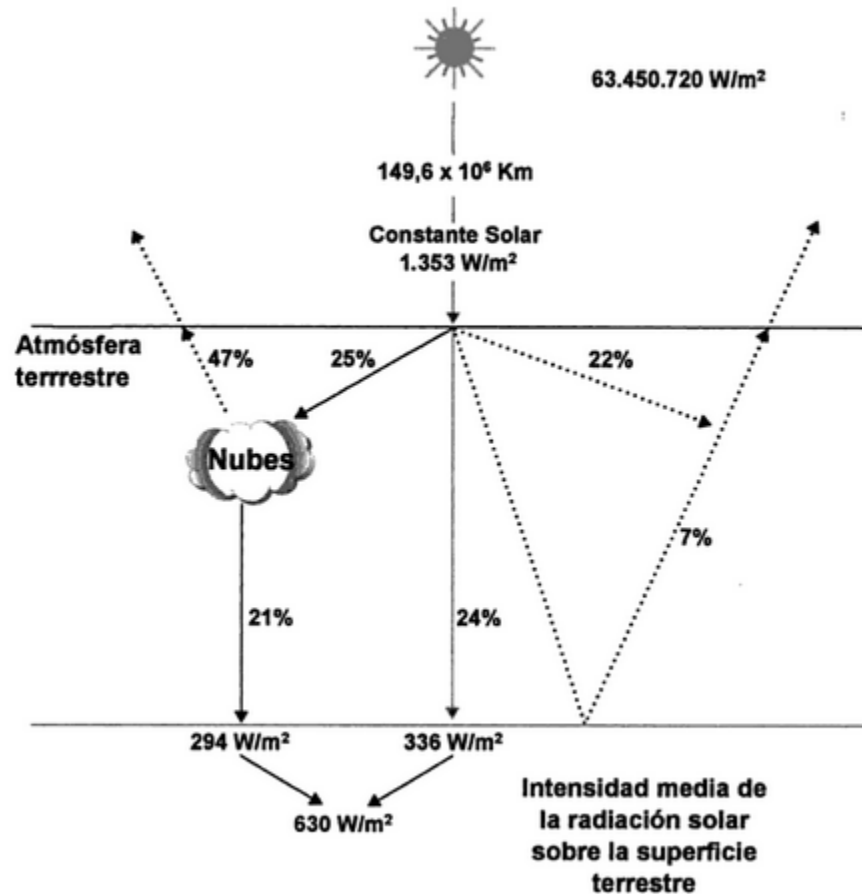


Figura 6 Irradiación solar en la superficie [3].

La energía solar es la más importante puesto que esta tiene que ver con todos los tipos de energía mencionados anteriormente, ya que los ciclos de estas se necesitan la energía solar para volver a iniciar, a excepción de la energía geotérmica y nuclear. La radiación emanada por el sol es aprovechada en diferentes formas de energía, como la energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

### ➤ Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es producida por la transformación de energía solar radiante en energía eléctrica por medio de fotoceldas solares o módulos fotovoltaicos, en la figura 7, un sistema de energía solar fotovoltaica con sus elementos.

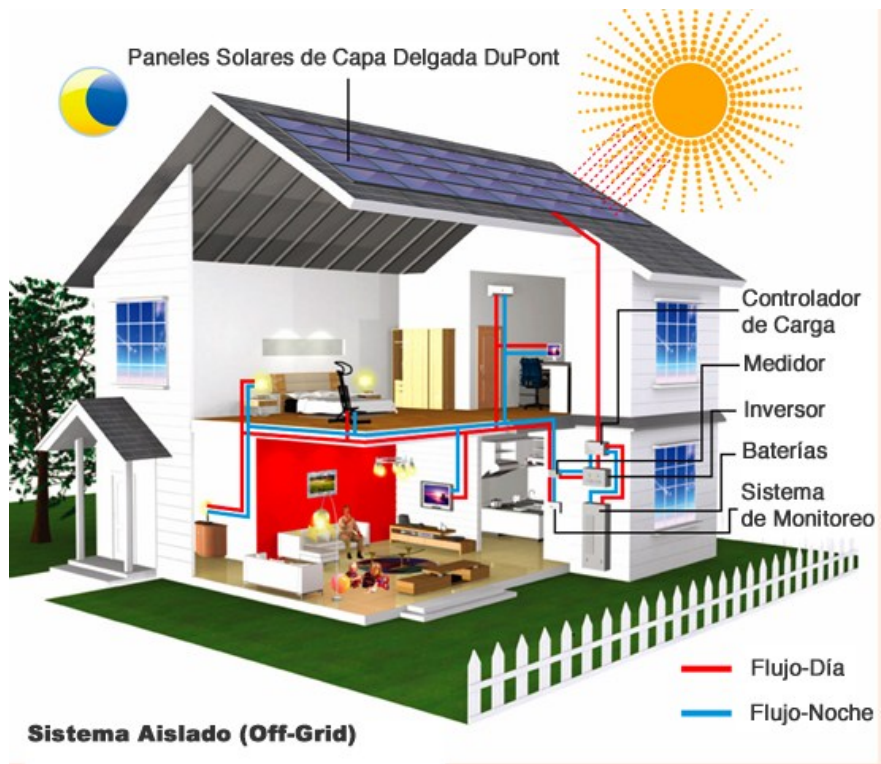


Figura 7 Sistema de energía fotovoltaica y sus componentes [15].

En la gráfica anterior se muestra un sistema de energía fotovoltaica autónomo, con sus líneas diurnas y nocturnas, en la primera los módulos fotovoltaicos transforman la radiación en electricidad mandándola al regulador y este a las baterías cuando se cargan por completo la el regulador no deja pasar más carga, puesto que esto produciría que se evapore el electrolito lo que acorta la vida útil y de los acumuladores se conecta a el inversor para las cargas con corriente alterna. En la línea nocturna la energía acumulada en las baterías se utiliza puesto que la se presenta insolación total.

➤ Energía solar térmica

La energía solar térmica o energía termo solar se define como el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos, esta generación se divide en dos sistemas, los sistemas foto térmicos pasivos, que son aquellos en que se aprovecha la energía del sol sin que otra energía fuera de esta intervenga (Figura 8) y los sistemas foto térmicos activos son semejantes a los anteriores pero con la diferencia que se requiere el aporte de energía auxiliar como, por ejemplo, la energía eléctrica por bombas o ventiladores (Figura 9) [16].

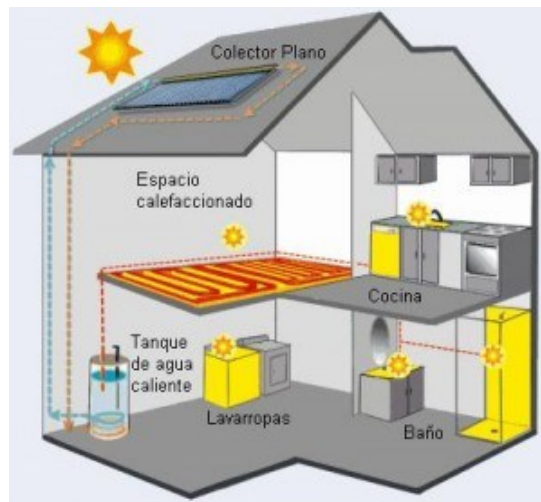


Figura 8 Sistema foto térmico pasivo [17].

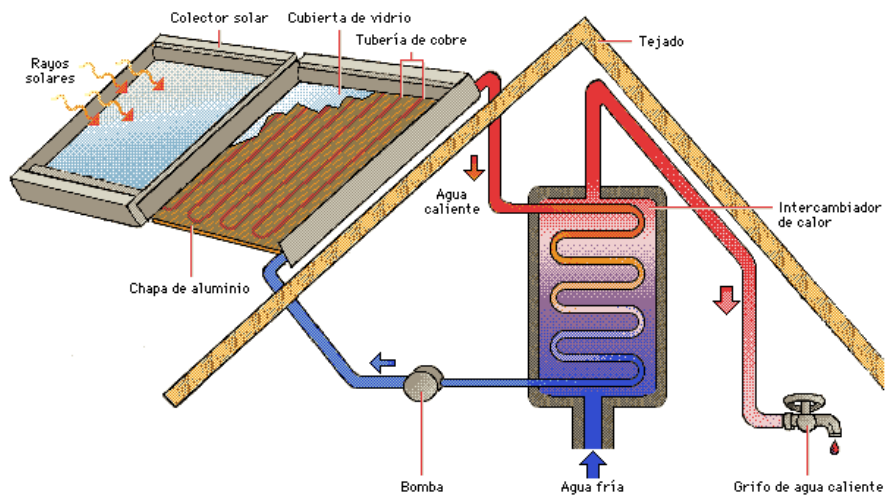


Figura 9 Sistema foto térmico activo [18].

En la Figura 8, se presenta un sistema foto térmico pasivo este consiste en que se lleva el calentamiento del agua directo para su consumo, mientras que en el sistema foto térmico activo lleva una bomba que es la encargada de dar fuerza al caudal de agua.

## 1.2. Proyectos realizados

Proyectos realizados en los últimos años en Colombia.

### 1.2.1. Referencias Escuela Colombiana de Carreras Industriales

En la Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI) se encuentran tres referentes de energía solar el cual son buenos referentes para la realización del presente trabajo a continuación:

#### 1.2.1.1. Diseño de un Sistema de Seguimiento para Panel De Energía Solar Fotovoltaico

En el proyecto se diseñó y fabricó un sistema de seguimiento al sol para un panel de energía solar con el propósito de incrementar la energía obtenida con respecto a un panel solar fijo (con el mismo ángulo de inclinación a cualquier hora del día). Se ratificó que hay un aumento significativo cuando se logran sistemas donde la luz solar incide de forma perpendicular durante todo el día sobre un elemento receptor de radiación solar. Esto gracias al diseño de un sistema mecatrónico, que como su nombre lo indica se compone de un sistema mecánico y un sistema electrónico; este último es el que más le interesa al proyecto, debido al aumento de la eficiencia, ya que la luz incide perpendicularmente en cualquier instante. Este principio se tendrá en cuenta en el sistema de concentración solar. Por esta razón el sistema de control electrónico obtenido con este proyecto podrá ser de gran ayuda en el momento que se comience a realizar las propuestas de un sistema de concentración solar [19].

#### *1.2.1.2. Diseño cálculo y elaboración de un sistema de energía térmica solar para agua caliente sanitaria con instalación en el edificio de la ECCI*

En este proyecto se logró el cálculo y fabricación de 2 formas para calentar el agua por medio de energía solar. Se realizó la fabricación de 2 sistemas, los cuales utilizaron la captación solar con un sistema de placas absolvedoras y una tubería de cobre; conectadas a estas se encuentra un acumulador de agua. El sistema logró tener una temperatura en el agua a la salida de 44 a 54°C. Con el sistema fabricado se puede obtener información del tipo de montaje en el sistema de tubería, también se pueden utilizar ideas del montaje para adaptarlas al diseño de un sistema de concentración solar [20].

#### *1.2.1.3. Diseño, cálculo y elaboración de un sistema de energía térmica solar para agua caliente sanitaria con instalación en el edificio de ECCI*

En este proyecto se logró el cálculo y fabricación de 2 formas para calentar el agua por medio de energía solar. Se realizó la fabricación de 2 sistemas, los cuales utilizaron la captación solar con un sistema de placas absorbedoras y una tubería de cobre; conectadas a estas se encuentra un acumulador de agua. El sistema logró tener una temperatura en el agua a la salida de 44 a 54°C. Con el sistema fabricado se puede obtener información del tipo de montaje en el sistema de tubería, también se pueden utilizar ideas del montaje para adaptarlas al diseño de un sistema de concentración solar [21].

### **1.2.2. Referentes Universidad Nacional de Colombia**

La Universidad Nacional de Colombia es una de las universidades donde más se han realizado proyectos e investigaciones sobre este tipo de energía renovable donde a continuación se nombraran algunos de estos trabajos los cuales son un buen referente para el trabajo a realizar:

#### *1.2.2.1. Diseño y construcción de un sistema de posicionamiento solar de 2GDL con control manual y automático para obtener la máxima eficiencia en paneles solares*

Este trabajo que fue presentado por un estudiante de Ingeniería Electrónica para la obtención de la Ingeniería, el cual se diseñó y fabricó un sistema mecánico y electrónico con un control de



posicionamiento solar de dos grados de libertad, con el fin de ser utilizado en aplicaciones con paneles solares para obtener la máxima eficiencia en cualquier hora del día. El diseño de dicho dispositivo ha sido realizado en el departamento de Ingeniería de Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia y cuenta con un sistema central de control electrónico, el cual, no utiliza baterías para su funcionamiento, a cambio de esto toma la energía del panel solar y realiza la corrección cuando sea necesaria. Los distintos dispositivos que se utilizaron para su construcción cumplen una serie de requisitos de máxima eficiencia y mínimo consumo de energía, características propias de Energy Harvesting; proceso mediante el cual se captura la energía fácilmente disponible en el medio ambiente y la convierte en energía eléctrica utilizable con la mayor eficiencia posible [22].

#### 1.2.2.2. Implementación de un sistema de energía desde un panel de celdas solares a una red eléctrica residencial

En esta tesis se plantea una forma de conectar la electricidad de energía solar fotovoltaica a una red convencional residencial, junto con la electrónica que ha realizado grandes esfuerzos en encontrar fuentes de energía renovables y auto sostenibles que sustituyan o complementen las que se manejan actualmente, entre las soluciones que se han dado y que ha tenido gran acogida a nivel mundial, se encuentra la utilización de celdas solares que permitan el aprovechamiento de la energía solar; diferentes universidades han diseñado varias propuestas sobre cada una de las etapas que componen un sistema fotovoltaico buscando lograr la mayor eficiencia desde el punto de vista técnico, sin embargo, omiten de manera tajante cualquier posible estudio económico sobre la implementación a pequeña escala; es por esto que se vio la necesidad de realizar un estudio comparativo entre algunas soluciones propuestas tomando en cuenta no solo los resultados de eficiencia sino también buscando una comparación económica que indique cual puede ser la configuración es la más adaptable para su implementación a escala pequeña [23].

#### 1.2.3. Referentes Alta Ingeniería

En alta ingeniera es una empresa que a realizado proyectos de energia solar en Colombia y uno de esos fue de un sistema fotovoltaico autónomo en iluminación, este se cita a continuación:

##### 1.2.3.1. Proyecto fotovoltaico autónomo off-grid autopistas del café primera planta de energía solar de 20 kw en Colombia (iluminación autónoma túnel santa rosa vía Dosquebradas - Risaralda)

Para Autopistas del Café, siendo la primera planta de energía solar de 20 kilovatios (KW) que se haya construido en Colombia, para ofrecerle iluminación autónoma al túnel Santa Rosa vía Dosquebradas (Risaralda). Este es un modelo para Colombia, pues se demostró que con el uso del sol se minimiza el gasto energético y se disminuye la emisión de gases efecto invernadero, siendo de gran beneficio para el medio ambiente [24].

## 2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar como fue mencionado en el capítulo anterior, es la energía más importante ya que esta es la que da origen a las diferentes tipos de energía, como eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, etc., el aprovechamiento de la energía fotovoltaica se lleva a cabo por sistemas de captación que transforman la radiación en energía eléctrica. En el pasado esto era algo muy costoso, pero gracias a los desarrollos en la tecnología se ha vuelto más accesible para las personas, pues la necesidad de la utilización de otros tipos de energía que sea renovable y sea amigable con el medio ambiente.

### 2.1. Definición

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores y así un flujo de corriente.

### 2.2. Zonas de radiación

Con los ítems anteriores se puede calcular ya el sistema solar fotovoltaico, pero para realizar esto se necesitan unos datos indispensables los cuales son la radiación solar.

Con una convención de colores desde blanco a rojo indica una mayor intensidad, se ilustra la aproximación de promedio anuales, en el territorio Colombiano [25].

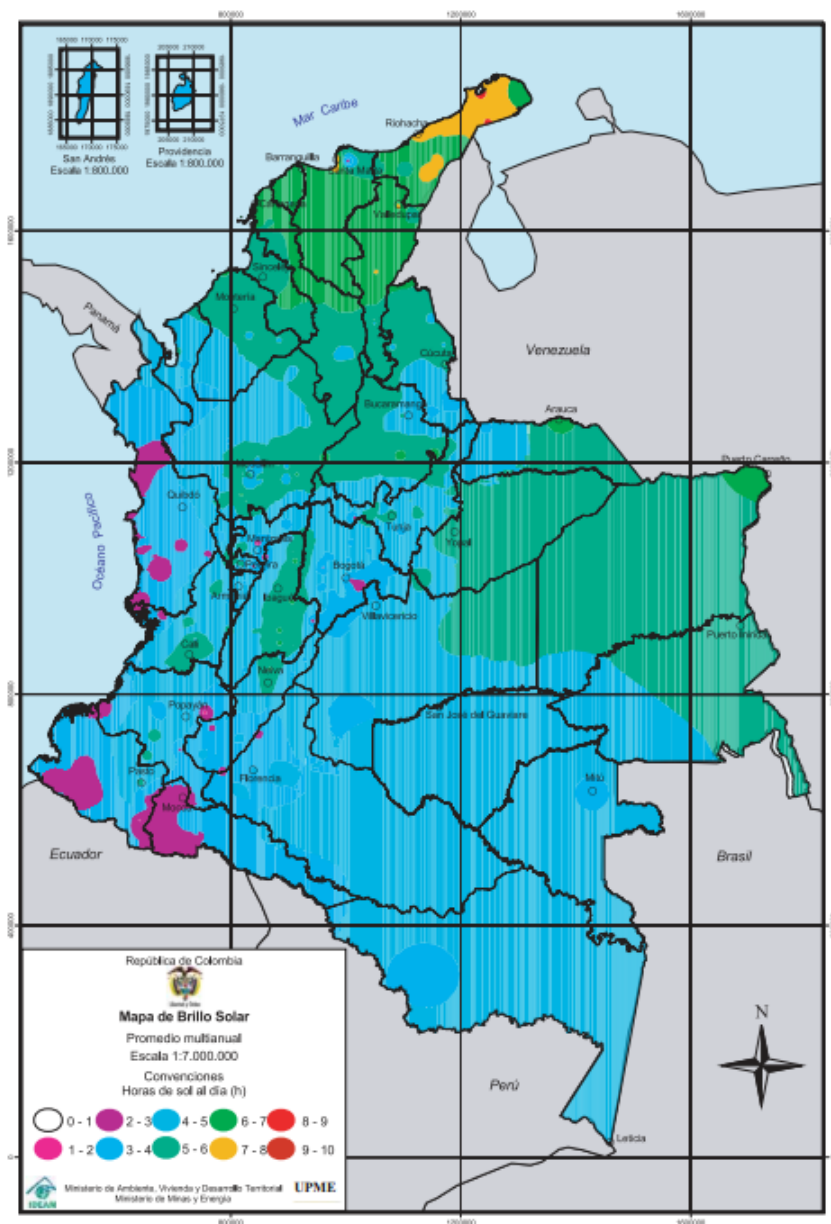


Figura 10. Mapa radiación solar en Colombia [25].

En el Cuadro se observa un promedio de radiación solar en las diferentes zonas de Colombia.

REGIÓN	kWh/m <sup>2</sup> /año
GUAJIRA	2.190
COSTA ATLÁNTICA	1.825
ORINOQUIA	1.643
AMAZONIA	1.551
ANDINA	1.643
COSTA PACÍFICA	1.278

Tabla 1. Promedio anual por regiones en Colombia [26].

La información de las tablas mencionadas anteriormente, son para dar idea de la radiación en las regiones nombradas, para así poder realizar en cálculo de este sistema fotovoltaico.

En las Figuras muestra la radiación solar en la zona de Bogotá, que es el interés de este proyecto.

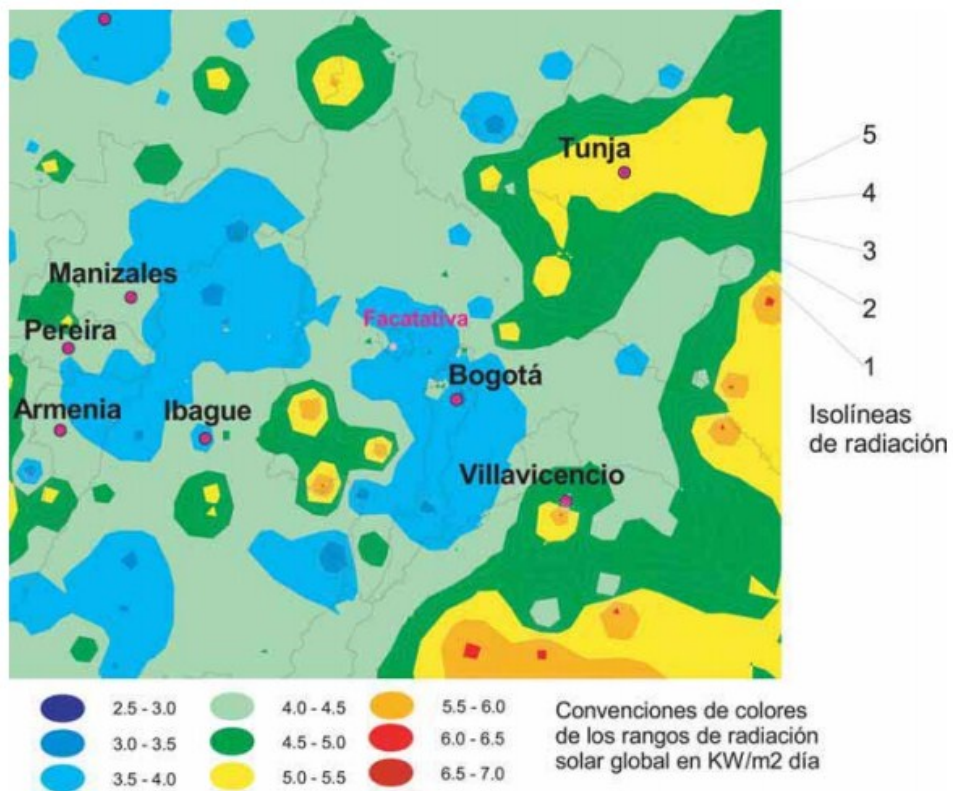


Figura 11. Radiaciones en la zona de Bogotá y alrededores [6].

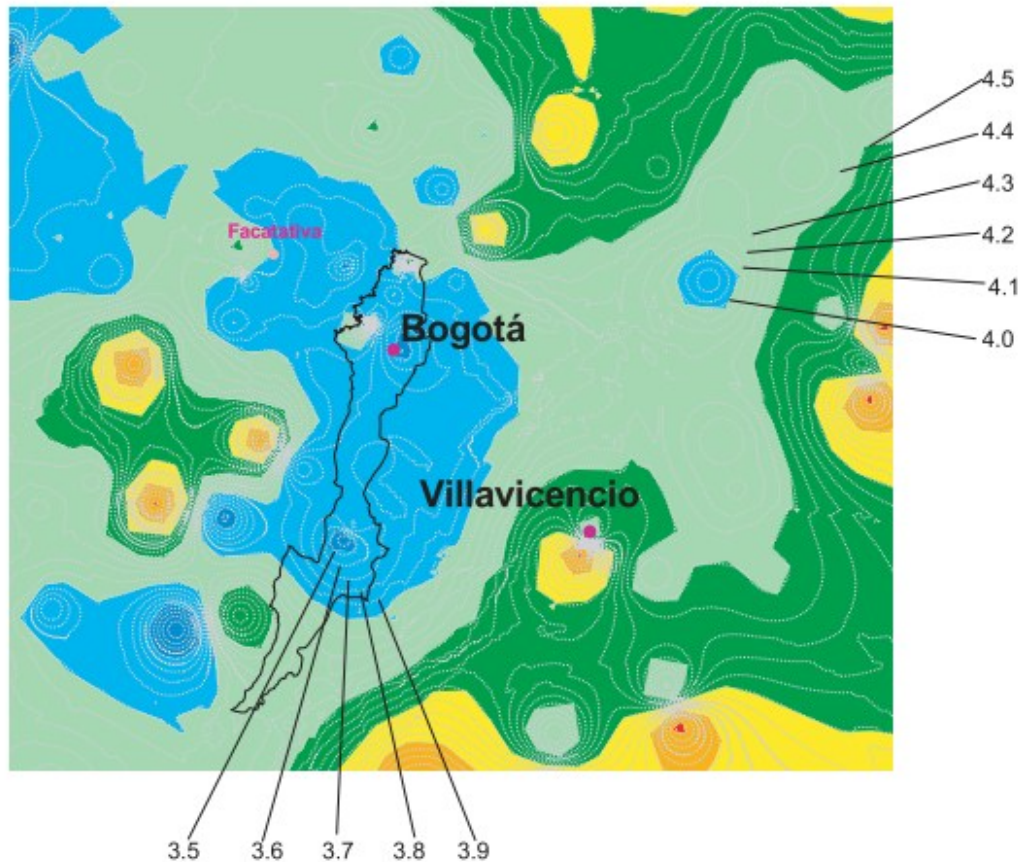


Figura 12. Radiación en la zona de Bogotá [6].

### 2.3. Historia de la energía solar fotovoltaica

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Alexandre Edmond Becquerel en 1838 cuando tenía sólo 19 años. Becquerel estaba experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino cuando comprobó que la corriente subía en uno de los electrodos cuando este se exponía al sol.

El siguiente paso se dio en 1873 cuando el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos. En este caso sobre el Selenio. Pocos años más tarde, en 1877, El inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio.

Si bien en todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles.

La posibilidad de una aplicación práctica del fenómeno no llegó hasta 1953 cuando Gerald Pearson de Bell Laboratories, mientras experimentaba con las aplicaciones en la electrónica del silicio, fabricó casi accidentalmente una célula fotovoltaica basada en este material que resultaba mucho más eficiente que

cualquiera hecha de selenio. A partir de este descubrimiento, otros dos científicos también de Bell, Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas de ellas. De esta manera empezaba la carrera de las placas fotovoltaicas como proveedoras de energía [27].

En la década de los 90 y en los primeros años del S XXI las células fotovoltaicas han experimentado un continuo descenso en su coste junto con una ligera mejora de su eficiencia. Estos factores unidos al apoyo por parte de algunos gobiernos hacia esta tecnología han provocado un espectacular impulso de la electricidad solar en los últimos años [28].

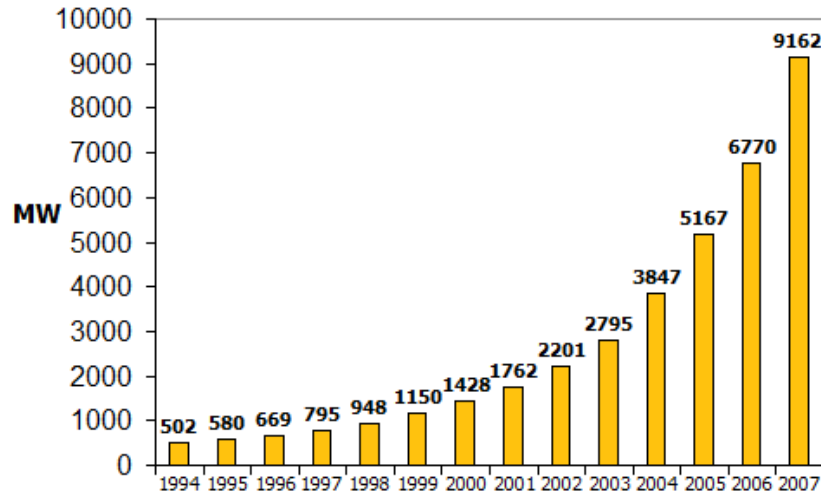


Figura 13. Capacidad fotovoltaica acumulada mundial [28].

Entre las medidas de apoyo al sector llevadas a cabo por algunos gobiernos, destacan las leyes de primas que obligan a las compañías de luz a comprar la electricidad fotovoltaica a una tarifa mucho más alta que la de la venta, lo que ayuda a rentabilizar la instalación en un periodo de tiempo pequeño. Esta medida se ha aplicado en España y Alemania, entre otros países, con un enorme éxito propiciando un importante despegue de este tipo de tecnología. Además las instalaciones de equipo fotovoltaico han contado con muchas subvenciones en diversos países y administraciones que financiaban una parte importante de los costos facilitando su adquisición [28].

### 2.3.1. Aplicación a satélites espaciales

Pese a los avances que se habían tenido la construcción de paneles fotovoltaicos, los costes eran muy elevados para la obtener energía en la tierra es por esto que se aplicaron en el espacio en satélites que obtenían energía de estos, en el Cuadro 1, se muestran algunos de los primeros proyectos espaciales en las que se utilizó paneles solares [28].

AÑO	PROYECTO ESPACIAL	POTENCIA DE SU INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
1958	Vanguard I	0,1 W
1962	Telstar	14 W
1964	Nimbus	470 W
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW
1973	Skylab	20 KW

Cuadro 1. Hitos de instalaciones fotovoltaicas en satélites espaciales [28].

### 2.3.2. Energía solar fotovoltaica en la actualidad

Colombia al estar ubicada en una posición en una zona de trópico que no tiene estaciones, no hay cambios bruscos en la radiación solar, es por este motivo que la energía solar fotovoltaica tiene una buena acogida y eficiencia.

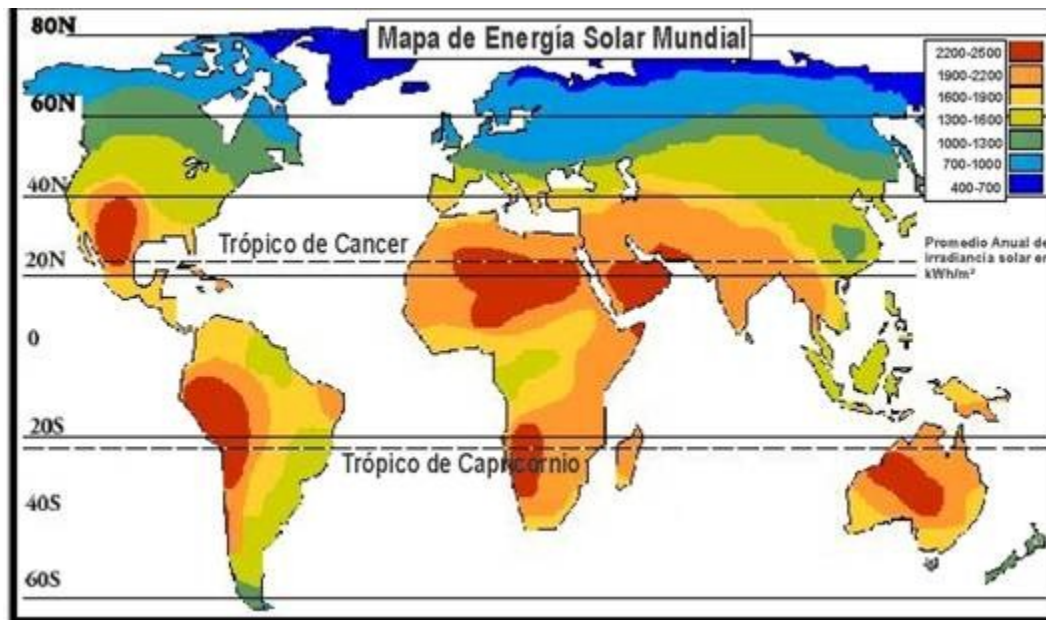


Figura 14 Mapa de radiación solar global [7].

La Energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología. A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MW según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA),

de los cuales cerca de 29.000 MW, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga [29].

Las tres áreas de mayor interés en el mundo, según la potencia acumulada, son Europa (destacando Alemania y España, con más de un 52% del total mundial), Japón y EE.UU. Japón con cerca de 3.622 MW acumulados y EE.UU. con aproximadamente 2.727 MW representan el 9% y el 6,80% respectivamente de la potencia total. En el gráfico siguiente se representa el histórico de la potencia acumulada a nivel mundial en los últimos años, apreciándose claramente el crecimiento exponencial [29].

A corto plazo es previsible que esta distribución del mercado se mantenga, si bien hay países que empiezan a despuntar, lo cual hace suponer también que en el futuro el peso relativo de los países con más potencia no será tan preponderante como en la actualidad. Así países como Italia, que se convierte en el año 2009 en el segundo mercado mundial, con 711 MW instalados, y en el año 2010 se estiman unos 2.321 MW más. En Europa la República Checa que instaló en 2009 411 MW y en 2010 aproximadamente unos 1.490 MW, y Bélgica 210 MW en 2010. Japón y Estados Unidos siguen manteniéndose en sus posiciones con 990 MW y 980 MW instalados respectivamente [29].

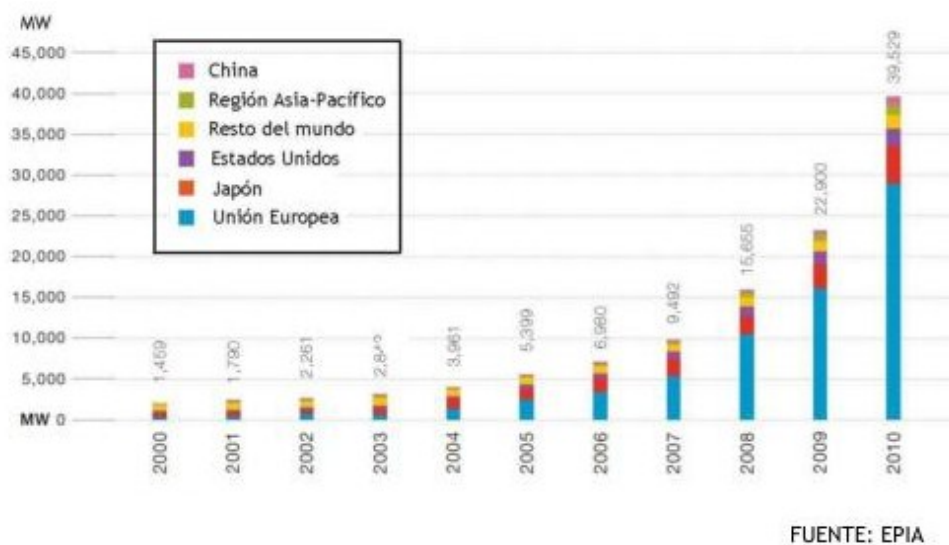


Figura 15 Potencia acumulada en el mundo al 2010 [29].

Comparando la información de las figuras 11 y 13 se ve el incremento de la energía solar fotovoltaica, en los países que más producen contaminación, están utilizando esta tecnología para la generación de energía, países como EE.UU, Japón, China, entre otros estos al ser de primer mundo son los que más generan gases de efecto y con producción de energía solar bajan sus índices de contaminación [29].



### 2.3.3. Datos de posicionamiento del lugar de estudio

En la Tabla 2, se muestra la radiación de la zona más cercana a punto de estudio la cual es la Estación Sierra Morena de Soacha, y en la Tabla 6, se muestra las coordenadas de posicionamiento de esta.

Para empezar a realizar los cálculos, se presenta en la Tabla 9 la información de la zona a realizar el estudio, en esta se muestra los datos de la estación Sierra Morena la más cercana a la localidad de San Cristóbal y de donde se han registrado los datos, además esta zona muestra gran similitud con las características de la localidad de San Cristóbal, registrados por el IDEAM.

CÓDIGO	ESTACION	CONVENIO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	MUNICIPIO
0021206940	<b>Ciudad Bolívar (Sierra Morena)</b>	IDEAM	Urbana	4,58	-74,17	2548	Bogotá

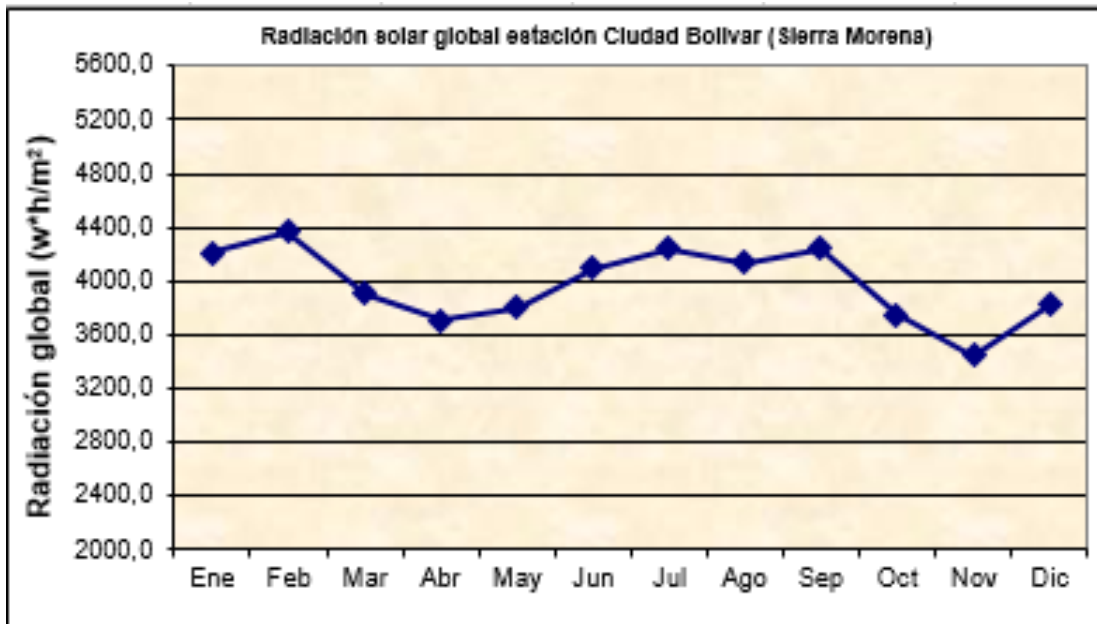
Tabla 2 coordenadas de posicionamiento [30].

En la Tabla 3, se muestra la radiación de la zona a hacer el estudio estos datos son indispensables para el cálculo de módulos fotovoltaicos utilizados en el Capítulo 3.

HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
1-2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
2-3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
3-4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-6	0,0	0,1	0,1	0,6	2,0	1,6	0,6	0,4	1,2	2,6	1,7	0,3
6-7	36,9	33,5	40,7	51,2	64,8	59,7	54,8	52,9	72,2	73,8	69,9	56,7
7-8	194,9	188,9	177,1	188,6	195,7	187,1	176,8	190,1	230,2	224,1	216,0	215,3
8-9	380,0	378,2	340,8	335,4	332,4	315,8	333,3	335,2	373,4	386,2	372,4	377,8
9-10	521,4	521,1	471,7	438,4	432,7	438,9	465,1	456,5	485,3	489,8	471,9	501,9
10-11	607,5	610,3	534,9	488,3	485,0	505,3	535,7	524,4	572,4	512,7	517,6	573,3
11-12	620,2	631,8	530,7	498,8	499,1	549,7	579,0	554,0	581,7	522,9	484,5	562,5
12-13	612,0	603,6	505,0	463,7	511,4	558,4	563,6	557,7	525,6	453,6	453,0	533,7
13-14	454,5	443,7	467,0	449,1	451,6	510,5	521,8	500,2	506,4	424,3	308,1	384,8
14-15	332,3	441,8	379,4	357,7	379,2	426,0	446,2	428,4	408,1	323,4	281,8	286,4
15-16	280,2	305,7	266,6	254,1	272,1	317,1	321,0	312,8	297,3	223,7	180,6	217,4
16-17	139,0	164,6	149,7	141,6	143,5	172,2	186,2	173,3	155,8	96,0	77,9	97,3
17-18	29,3	40,3	37,4	34,8	35,9	46,7	52,8	46,0	28,4	14,2	12,1	18,0
18-19	1,0	1,6	1,0	0,6	0,5	1,0	1,7	1,1	0,4	0,4	0,4	0,5
19-20	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
20-21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
21-22	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
22-23	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
23-0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Acumulada diaria	4209,2	4365,1	3902,1	3702,7	3805,9	4090,0	4238,6	4133,1	4238,4	3747,5	3447,8	3826,0

Tabla 3. Radiación hora a hora (Wh/m<sup>2</sup>) [30].

Con los datos de consumo mencionados en el siguiente ítem, estos se tendrán en cuenta para realizar el cálculo de la energía fotovoltaica, al igual que los datos de radiación en la zona de realización del estudio, en la Tabla 3 se presentaran datos donde vienen dados la radiación solar y estos graficados en la Gráfica 2.

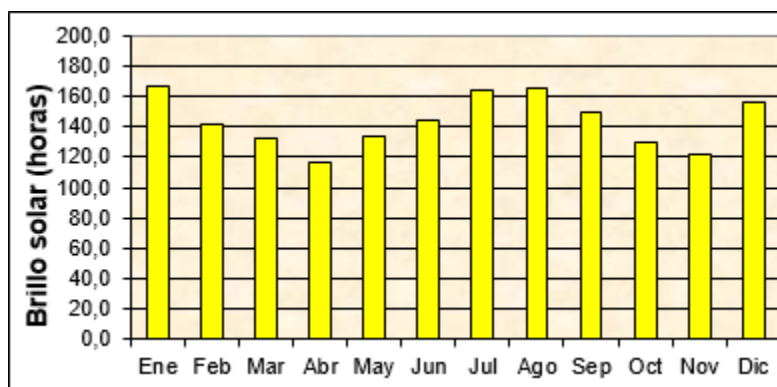


Gráfica 1 Radiación solar [30].

Los datos de la anterior tabla son fundamentales para el cálculo del sistema ya que muestra la radiación solar hora a hora, y en la Gráfica 3, se muestra las horas de brillo solar de un promedio desde el año 1983 al 2012 dato más reciente.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
166,4	141,4	132,4	116,6	133,5	144,0	164,6	165,2	150,1	129,6	122,1	155,7
										Promedio	<b>143,5</b>

Tabla 4 brillo solar periodo 1983-2012 [30].



Gráfica 2 Brillos solar en Estación Sierra Morena [30].

## 2.4. Conceptos básicos sobre energía solar fotovoltaica

La materia está constituida por átomos, que tienen dos partes bien diferenciadas:

Núcleo: carga positiva.

Electrones: carga negativa.

Los electrones giran alrededor del núcleo en distintas bandas de energía y compensan la carga positiva de este, formando un conjunto estable y eléctricamente neutro.

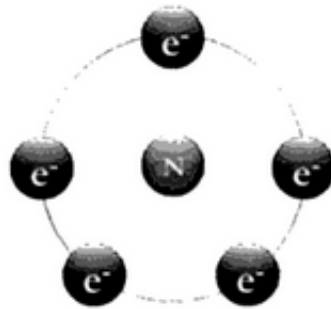


Figura 16 Estructura átomo [3].

Los electrones de última capa se llaman electrones de valencia, y se interrelacionan con otros similares formando una red cristalina haciendo una unión entre dos átomos.

## 2.5. Tipos de conducción en materiales

Para comprender el funcionamiento de cómo trabaja la energía solar fotovoltaica hay que tener claro en que consiste el efecto fotovoltaico, y también comprender como molecularmente funciona en los materiales este efecto [3].

### 2.5.1. Materiales Conductores

Los electrones de valencia están poco ligados al núcleo y pueden moverse con facilidad dentro de la red cristalina con un pequeño agente externo.

### 2.4.2 Materiales semiconductores

Los electrones de valencia están más ligados al núcleo pero basta una pequeña cantidad de energía para que se comporten como conductores.

### 2.4.3 Materiales aislantes

Tienen una configuración muy estable, con los electrones de valencia muy ligados al núcleo; la energía necesaria para separarlos de este es muy grande.

## 2.6. El efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico o fotovoltaico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso consiste con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad [3].

El material apropiado lograr lo mencionado anteriormente es el silicio (Si), ya que su estructura está ligada al núcleo pero con una pequeña cantidad de energía como lo es la que proporciona la radiación solar llamados fotones esta energía es muy similar a la que liga a los electrones, cuando la luz incide sobre el silicio, se rompen los enlaces entre el núcleo y los electrones de valencia que quedan libres para circular por el semiconductor. Al lugar que deja el electrón al desplazarse se le llama hueco y tienen una carga eléctrica positiva (de igual valor que la del electrón pero de signo contrario), este fenómeno genera una corriente eléctrica [3].

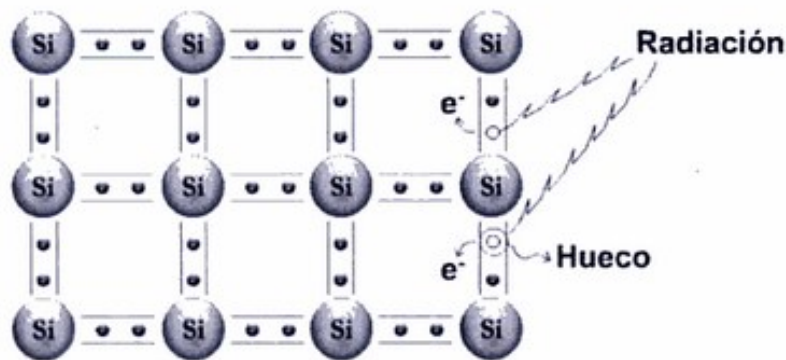


Figura 17 Ruptura de enlaces covalentes [3].

Este material semiconductor se aplica a las células fotovoltaicas las cuales se explicaran a continuación [3].

## 2.7. Tipos de células fotovoltaicas

El poli silicio (silicio depurado hasta alcanzar una pureza de ppm) es el material más utilizado para la producción de células fotovoltaicas, debido a que el silicio metalúrgico es abundante, fiable, de fácil manipulación y estas probado desde hace varias décadas. Se utiliza en dos formas diferentes: mono cristalino y poli cristalino. Que difieren en cuanto a su proceso de fabricación, rendimiento y peso. Finalmente, en los últimos años se han desarrollado los materiales de capa delgada, con propiedades fotosensibles, muy delgados y de bajo coste [3].

### 2.7.1. Células de silicio monocristalino

Son las primeras células fotovoltaicas que salieron al mercado y las más utilizadas. Su superficie, homogénea y de color azul, puede tomar redonda o cuadrada. Aunque su fabricación es más compleja que la del resto, y su coste superior, su rendimiento es el más elevado, lo cual se traduce en una reducción de espacio. Se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro.

El grosor de las células es del orden de 300 micras. Se rendimiento se sitúa entre el 15 y el 20 % en la fabricación en serie, cifrándose la duración de las células entre 25 y 30 años [3].



Figura 18 Célula de silicio monocristalino [31].

### 2.7.2. Células de silicio poli cristalino

Se elaboran a partir de obleas formadas por muchos cristales de silicio. El rendimiento de estas células se encuentra entre el 10 y 15 % en la fabricación en serie. En general, ocupan un tercio, as de espacio que las mono cristalinas, son de constitución cuadrada y tienen un precio inferior.

Las células de silicio poli cristalino se distinguen claramente porque le superficie de la célula tiene muchos tonos de color azul [3].

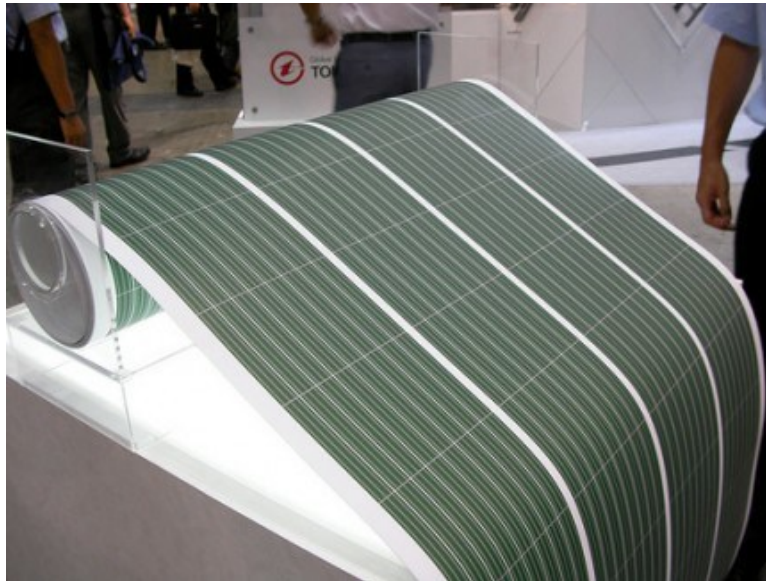


Figura 19 Célula de silicio policristalino [32].

### 2.7.3. Células de capa delgada

Dentro de la tecnología del silicio en capa delgada, destaca la de la a-si (silicio amorfo).

La célula se fabrica depositando átomos de silicio en un material de sustrato, que puede ser rugido o flexible (Figura 20). Durante la solidificación, los átomos no pueden enlazarse entre sí, por lo que quedan desordenados, sin formar una estructura cristalina [3].



*Figura 20 Célula de capa delgada montada sobre sustrato flexible [33].*

El silicio amorfo es muy distinto al cristalino. Sus cualidades de transporte eléctrico son del orden de 1000 veces inferior a este, sin embargo, a pesar de su baja movilidad, es más eficiente que el silicio cristalino en la absorción de la luz, por lo que el grosor de las células puede ser mucho menos (entre 150 y 300 nm) [3].

## **2.8. Rendimiento energético**

El rendimiento se define como la relación entre la magnitud cedida y la magnitud absorbida, es decir, el coeficiente entre la potencia máxima que suministra una célula fotovoltaica y la potencia luminosa que incide en su superficie [3].

Supongamos que un rayo de sol ilumina una célula fotovoltaica. Tal y como se ilustra en la figura xx, de entrada, se pierde un 23% de la energía incidente, pues procede de fotones de baja energía que no pueden hacer pasar portadores eléctricos desde la banda de valencia a la de conducción (su energía es menor que el gap del semiconductor) [3].

Otro 33% de la energía incidente se transforma en calor no útil, a pesar de provenir de fotones de energía superior al gap del semiconductor. Un 17% se pierde en la unión de los semiconductores, quedando finalmente un 27% de la energía aprovechable, de la que hay que descontar diversas pérdidas que la limitan aproximadamente a la mitad [3].

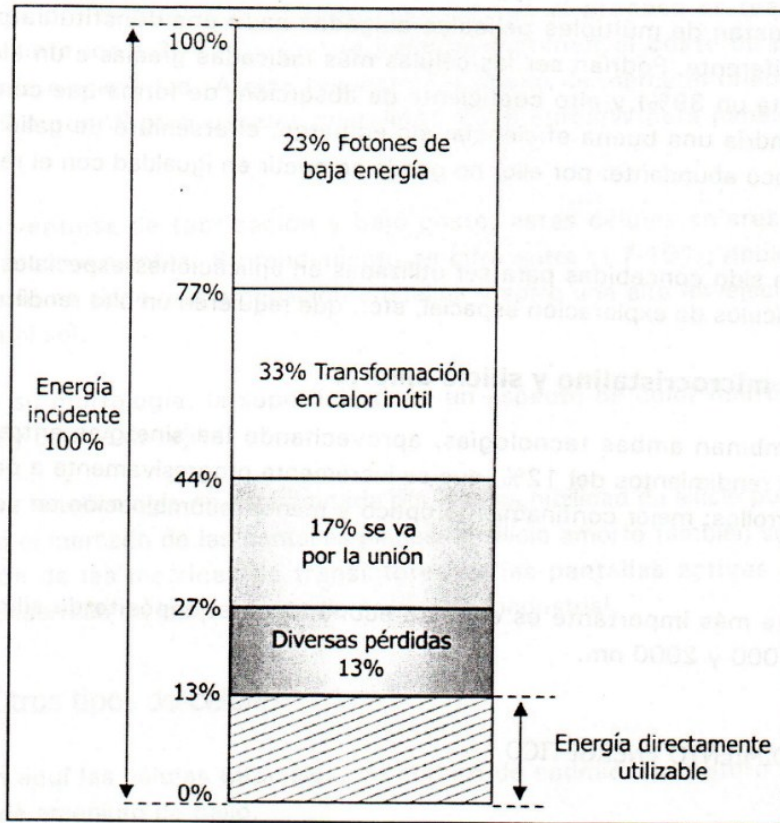


Figura 21. Balance energético de la célula fotovoltaica [3].

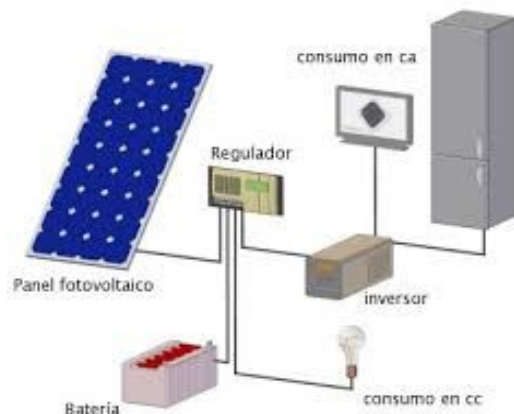
En la Tabla 5, se muestra el rendimiento de los principales tipos de células existentes.

TIPO DE CÉLULA	RENDIMIENTO ENERGETICO
Silicio monocristalino	15-20%
Silicio policristalino	10-15%
Capa delgada	20 - 30%

Tabla 5. Rendimiento energético de los diferentes tipos de células fotovoltaicas, modificada en Word [3].

## 2.9. Elementos de un sistema de energía solar fotovoltaica

Estos son los encargados de que se presente un buen funcionamiento del sistema y cada uno de estos es importante para que este trabaje en óptimas condiciones, en este se distingue dos tipos de instalaciones, una de ellas es la que se presenta con acumulador y la otra sin acumulador y la conversión de energía solar a eléctrica es directa, para este proyectos se realizara con la instalación que presente el acumulador y demás componentes los cuales son las células fotovoltaicas, el regulador, batería o acumulador como se nombró anteriormente e inversor.



Gráfica 3. Sistema energía solar fotovoltaica [34].

## Scientists discover how to generate solar power in the darkness

Obviously it cannot be forgotten: The problem of solar energy is that sometimes ... the sun does not shine. Now, a team from the Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Harvard University has found a solution to the matter, a material that can absorb heat from the sun and store the energy in chemical form, ready to be released again on demand. This solution is not the panacea of solar energy from the MIT caution because although it could produce electricity, it would be efficient to do so. However, for applications where heat is the desired output-heating of buildings, industrial processes and some kitchen-this could provide an opportunity for the expansion of solar energy, and that makes it, in the form of heat, into something "storable and distributable," said Jeffrey Grossman, professor of Materials Science and Engineering and co-author of a paper describing the new process in the journal Nature Chemistry. The principle is simple: Some molecules can assume one of two ways, as if they had a hinge in the middle. Exposure to sunlight causes them to absorb energy and jump from one configuration to another, which is then stable for long periods of time. But these molecules can be activated to return to another configuration by applying a small jolt of heat, light or electricity, and when they relax, they emit heat. In fact, behave as rechargeable thermal batteries: taking energy from the sun, storing it and then releasing indefinitely on demand [35].

No por obvio puede ser olvidado: El problema de la energía solar es que a veces... el Sol no brilla. Ahora, un equipo del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Harvard ha encontrado una solución al asunto, un material que puede absorber el calor del sol y almacenar esa energía en forma química, lista para ser liberada de nuevo bajo demanda. Esta solución no es la panacea de la energía solar, advierten desde el MIT, porque si bien podría producir electricidad, no sería eficiente hacerlo. Sin embargo, para aplicaciones en las que el calor es la salida deseada -calefacción de edificios, cocina y algunos procesos industriales- esto podría proporcionar una oportunidad para la expansión de la energía solar, ya que la convierte, en forma de calor, en algo «almacenable y distribuable», afirma Jeffrey Grossman, profesor de Ciencias de los materiales e Ingeniería y coautor de un artículo que describe el nuevo proceso en la revista Nature Chemistry. El principio es simple: Algunas moléculas pueden asumir una de dos formas diferentes, como si tuvieran una bisagra en el medio. La exposición a la luz solar hace que absorban energía y salten de una configuración a otra, que luego es estable durante largos periodos de tiempo. Pero estas moléculas se pueden activar para volver a la otra configuración mediante la aplicación de una pequeña sacudida de calor, luz o electricidad, y cuando se relajan, emiten calor. En efecto, se comportan como baterías térmicas recargables: tomando la energía del sol, almacenándola indefinidamente y luego soltándola bajo demanda.

### 2.9.1. Células fotovoltaicas

La conversión de energía solar en energía eléctrica tiene lugar en una célula fotovoltaica. Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre 0,25mm y los 0,35mm, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente de área 100cm<sup>2</sup>.



Cada célula fotovoltaica se compone de una delgada capa de material tipo “n” y otra de mayor espesor de material tipo “p”.

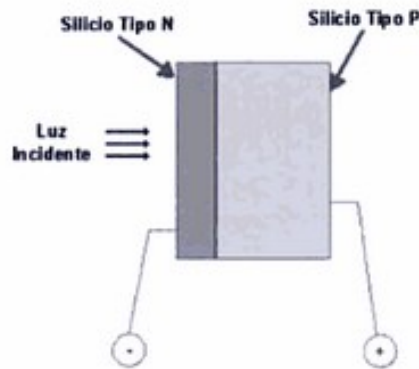


Figura 22 Célula fotovoltaica [3].

Ambas capas separadas eléctricamente neutras, y al juntarlas se genera un campo eléctrico en la unión “p-n”.

Cuando la luz incide sobre la célula los fotones rompen el par de electrón hueco. El campo eléctrico de la unión los separa para evitar que se recombinen, llevando los electrones a la zona “n” y los huecos a la zona “p”. Mediante un conductor externo, se conecta la capa negativa a la positiva, generándose así un flujo de electrones (corriente eléctrica) de zona “p” a la zona “n”.

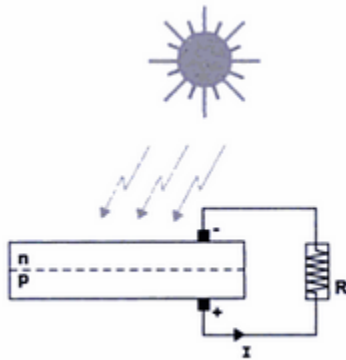


Figura 23 Esquema célula fotovoltaica materiales “p-n” [3].

La superficie de la zona “n” es la cara que se ilumina. Mientras la luz siga incidiendo habrá corriente eléctrica, y su intensidad será proporcional a la cantidad de luz que reciba la célula.

- Avances tecnológicos

### 3P (Printed Paper Photovoltaic) Technology

*There is a growing need for renewable energy sources, and solar power is a good option in many instances. Photovoltaic solar panels are now being manufactured via various methods, and different printing processes are being incorporated into the manufacturing process. Screen printing has been used most prevalently in the printing process to make solar cells, but some*

*companies have used the offset web press type methods to put material onto foil; they also have created solar cells with inkjet printing. The printing of solar cells has helped to reduce manufacturing costs in most cases, and it also has increased the various applications in which solar power both is and can be used. Many more options for photovoltaic solar panels are available, and not simply the traditional ones that are often placed on rooftops. Such a variety of solar panels are partially to the result of the implementation of suitable printing processes during the production of these cells [36].*

Hay una necesidad creciente de fuentes de energía renovables y la energía solar es una buena opción en muchos casos, los paneles solares fotovoltaicos se fabrican ahora a través de varios métodos, y diferentes procesos de impresión se están incorporando en el proceso de fabricación. La serigrafía se ha utilizado más predominantemente en el proceso de impresión para hacer que las células solares, algunas empresas han utilizado la web tipo imprenta offset métodos para poner material en lámina; también han creado células solares con la impresión de inyección de tinta. La impresión de la energía solar células ha ayudado a reducir los costos de fabricación de la mayoría de los casos, también ha aumentado las posibilidades de aplicación en el que la energía solar se puede utilizar. Hay muchas más opciones para los paneles solares fotovoltaicos, y no sólo los tradicionales que se colocan a menudo en los tejados

## 2.9.2. Regulador

La instalación diseñada para funcionar todo el año está calculada para poder cargar el acumulador en las peores condiciones, que se correspondería con la época invernal. Ahora bien, cuando llega el verano, la radiación que recibe la instalación se puede duplicar, permaneciendo inalterable el consumo. En caso de no existir un regulador, el acumulador recibiría una sobrecarga de corriente que elevaría su temperatura, pudiendo llegar a descomponer el agua (gaseo) por falta de carga. Por lo tanto, el cometido de este dispositivo se basa en gestionar la energía de manera que no pueda dañar al acumulador por la corriente excesiva proporcionada por el campo de paneles fotovoltaicos.

El regulador puede ser serie o paralelo, según la forma de conexión. En el primer caso, se conecta entre el campo de paneles y el acumulador. Su uso se hace imprescindible en todos los casos. Un buen regulador debe gestionar la carga del acumulador y a la vez controlar su descarga, ya que la vida de un acumulador está ligada a la descarga que se produce en éste [3].

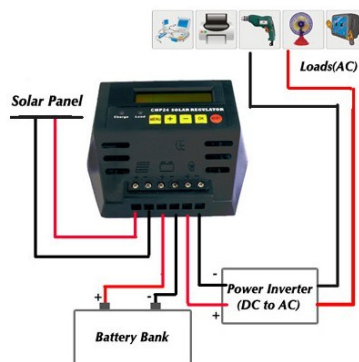


Figura 24 Regulador [37].

### 2.9.2.1. Ciclo de carga/descarga con regulador

En condiciones climatológicas normales, se ha visto cómo el acumulador estaba sometido diariamente al ciclo de carga/descarga.

Tras haberse realizado el consumo diario, y si las condiciones son favorables, el regulador permita el paso de corriente hacia el acumulador para su recarga. Éste se irá cargando por sus características, llegándose así a la plena carga.

En este punto, el regulador tan sólo deja pasar una pequeña y estable corriente de flotación para mantenerlo a plena carga, ya que en el caso de seguir recibiendo un exceso de corriente se iniciarían los procesos de gasificación y calentamiento, que pueden resultar peligrosos y acortar la vida del acumulador. Estas condiciones se mantienen hasta que la tensión del acumulador disminuye a un cierto valor por el consumo denominado histéresis superior, tras la cual se permite la carga.

En cuanto a la descarga, el regulador controla constantemente el potencial del acumulador. Cuando éste llega a un punto denominado voltaje de desconexión, que se corresponde con la profundidad de descarga permitida, el regulador emite una alarma o desconecta el circuito de carga. La conexión de la carga se producirá después de que el acumulador haya adquirido un cierto voltaje, que se denomina histéresis inferior [3].

### *2.9.3. Batería o acumulador*

La producción de energía fotovoltaica está ligada totalmente a las horas de radiación solar, razón por la cual se hace preciso la utilización de sistemas de acumulación de energía eléctrica, para disponer de ella en los momentos de ausencia de insolación, constituyendo los acumuladores de plomo el elemento más idóneo en la actualidad para esta función. La batería o acumulador tiene un proceso de carga y descarga, la carga es la que el regulador tiene como función no dejar pasar una sobre tensión de voltaje lo cual podría dañar el sistema. La descarga de este se debe a los consumos que se tengan [3].

#### *2.9.3.1. Descarga del acumulador*

Es el proceso (supuesto a corriente constante) por el que la energía electroquímica almacenada en la batería se transforma en energía eléctrica. El voltaje de descarga de la batería sigue la curva ilustrada en la figura 25.

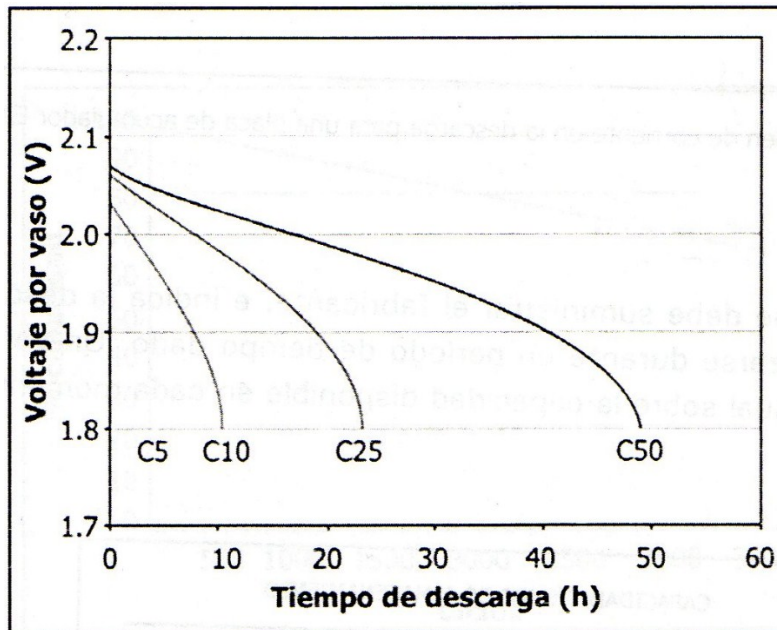


Figura 25 Perfil de descarga de la batería [38].

La descarga dependerá de la intensidad de descarga y de la temperatura del proceso. De esta manera, a altas corrientes, las baterías suministrarán menor capacidad porque se descargan más rápidamente; mientras que cuanto menor sea la temperatura de proceso, menor será también la capacidad al aumentar la viscosidad del ácido, lo cual hará más lento el proceso de proceso de difusión iónica [3].

### 2.9.3.2. Temperatura de operación

Cuanto mayor es la temperatura de operación, menor será el tiempo de vida de la batería. Se recomienda una temperatura de trabajo entre 20-25 °C.

### 2.9.4. Inversor

Los inversores, también denominados convertidores, transforman la corriente continua (DC) proveniente del campo de paneles o del acumulador en una corriente alterna (AC) no necesariamente sinodal (DC-AC, en inglés).

#### 2.9.4.1. Tipos de inversores

Existen diferentes tipos de inversores los cuales transforman la corriente continua a corriente alterna para los equipos que consumen este tipo de corriente [3].

#### - Inversor de onda cuadrada

Una gran mayoría de inversores funciona con este tipo de onda. Básicamente, consiste en un generador que hace oscilar a un transformador (un conjunto de dos bobinas acopladas magnéticamente) a 50 Hz, y cuyo primario se corresponde con la tensión de la instalación, estando al secundario a una tensión de 220 V [3].

- *Inversor de onda sinodal modificada*

Son equipos más sofisticados y caros, aunque en la actualidad se han impuesto debido a que ofrecen la mejor relación calidad/precio para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia; tienen un rendimiento hasta de un 95%. Utilizan la técnica “Modulación de Ancho de Impulso (PWM)”, que consiste en general muchos pulsos, a frecuencias en torno a 5kHz, modulando su ancho para aproximarse lo más posible a una senoide con bajo contenido en armónicos [3].

- *Inversor de onda sinodal pura*

Representa el resultado de la adopción de nuevas ideas y del desarrollo de la tecnología. Están controlados por microprocesadores, lo que permite obtener ondas sinusoidales son límite de la carga conectada. Son aptos para todo tipo de aparatos eléctricos.

- *Cableado*

Debe tenerse en cuenta que la sección de los cables a utilizar debe elegirse de manera que la caída de tensión en los mismos se encuentra por debajo de determinados límites. Además, es conveniente minimizar en lo posible la longitud del cable a utilizar, procurando que las distancias entre los paneles, el regulador, las baterías y el inversor sean lo más cortas posible [3].

### *2.9.5. Estructuras*

Básicamente se divide en 2 grupos los tipos de estructuras, los cuales se enfatizan en estructura soporte y estructura de panel fotovoltaico [3].

#### *2.9.5.1. Estructura soporte*

La estructura soporte tiene suma importancia a través de ella se puede modificar la orientación e inclinación de los paneles.

Debe tener la robustez y durabilidad necesaria para afrontar las inclemencias climáticas. Existen diferentes modelos siendo nuestro caso la estructura de suelo. En ciertas áreas geográficas es necesario protegerla estructura junto a los paneles con mallas metálicas o plásticas antigranizo que soportan un granizo de 25 mm de diámetro a una velocidad de caída de 70 Km/h [3].

#### *2.8.5.2. Estructura del panel fotovoltaico*

- *Cubierta exterior*

Tiene una misión eminentemente protectora, ya que es la que debe sufrir la acción de los agentes atmosféricos. Por este motivo la cubierta es de cristal de vidrio templado que asegura una buena durabilidad, además de ser sumamente liso y no retiene demasiada suciedad.

El vidrio templado permite aguantar las condiciones atmosféricas duras, tales como el hielo, la abrasión, el granizo, etc. Puede soportar también los cambios bruscos de temperatura [3].

#### - Capas encapsulantes

Son las encargadas de proteger las células solares y los contactos de interconexión. Deben presentar sobre todo una excelente transmisión a la radiación solar, así como la nula degradación frente a las radiaciones ultravioletas, ya que si no podría disminuir el rendimiento del módulo.

El encapsulante debe prestar también la misión de proteger y amortiguar las posibles vibraciones e impactos que se pueden producir, así como actuar de adhesivo entre las cubiertas posterior e inferior [3].

#### - Protección posterior

Su misión consiste fundamentalmente en proteger contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad.

El módulo utilizado tiene protegida su capa posterior por varias capas de TEDLAR (fluoruro polivinilo) que, al ser opacas y de color blanco, reflejan la luz que ha logrado pasar por las células, haciendo que vuelva a la parte frontal, donde puede ser reflejada e incidir de nuevo en las células.

#### - Marco soporte

Es la parte que presta rigidez y permite su inserción en estructuras que agrupan módulos.

El módulo es de aluminio anodizado, con los taladros necesarios para anclaje en la estructura soporte, evitando tener que manipularlo posteriormente ya que nunca se debe taladrar un marco ya que las vibraciones producidas pueden hacer estallar el cristal.

El marco lleva acoplada una toma de tierra, que deberá ser usada.

#### - Contactos eléctricos y diodos de protección.

Los contactos eléctricos son aquellos que van a permitir acceder a la energía producida por el conjunto de células.

El módulo tiene caja de conexiones por la parte posterior que contiene los diodos de protección (diodos bypass).

Estos diodos solo dejan pasar la corriente en un solo sentido y se oponen a la circulación en sentido contrario. Impiden que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos en ausencia de luz solar.

También evitan que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en paralelo, cuando en uno o varios de ellos se produce una sombra.

Los diodos de bypass protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales [39].

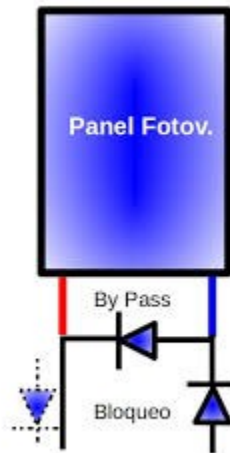


Figura 26. Diodo BY PASS [39].

Este diodo colocado entre los terminales de todo Panel Fotovoltaico va a actuar como puente eléctrico en el caso que entre en sombra, evitando de esta manera que consuma energía. El diodo de By Pass se coloca con el cátodo mirando hacia el terminal positivo del Panel Fotovoltaico y el ánodo hacia el terminal negativo del Panel Fotovoltaico [39].

### 2.9.6. Factor de seguridad de la instalación

El factor de seguridad de la instalación se considera como el porcentaje de pérdida de rendimiento, se recomienda en un 15%, según la teoría, este dato se utiliza para el cálculo del cableado y el consumo mensual de estos dos autoservicios.

### 3. DISEÑO DE OPCIONES PARA LOS AUTOSERVICIOS

En el siguiente capítulo se va a presentar el diseño que le dará solución al problema planteado en los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR, puesto que se miraron los consumos de electricidad convencional el cual genera un gran costo para estos almacenes, teniendo presentes las limitaciones en estos para plantear este estudio.

#### 3.1. Información de consumo y costos

Los autoservicios a los cuales se le van a realizar el estudio para el uso de energía fotovoltaica en iluminación, tienen un servicio determinado en iluminación de cierto número horas continuas en consumos de energía eléctrica convencional, por el costo del kilo vatio se genera un alto costo mensual.

A continuación se podrá ver los consumos de iluminación con su tiempo de duración y costos, en las

Tablas 9 y 10 se muestra, esto para los autoservicios COOPERMERCAR y SERVIMERCAR.

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	Nº de equipos N	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
Luz vestier	150	1	1	150
Luz baño	25	1	1	25
Luz almacén	32	48	14	21504
Luz de calle	70	4	3	840
<b>Total</b>				22519

	CONSUMO DIARIO (kWh/día)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	CONSUMO ANUAL (kWh)
	22,519	675,57	8106,84
<b>COSTO</b>	\$7.411,00	\$222.330,09	\$2.667.961,04
	Valor kilo vatio \$329,1 el cual se multiplica por el consumo diario.	El consumo mensual se multiplica el consumo diario por 30 días del mes.	El consumo anual se multiplica el consumo mensual por 12 meses del año.

Tabla 6 Consumos y tiempo de uso y costos de autoservicio COOPERMERCAR.

Los consumos del autoservicio COOPERMERCAR, reflejados en las facturas mensualmente son de 675,57KWh, con un precio de \$222.330,09 en solo iluminación, se desea implementar un sistema de energía solar fotovoltaica autónomo que pueda reducir los costos y generar un ahorro económico para el autoservicio.

Para el autoservicio SERVIMERCAR los consumos mensuales son menores debido a que maneja menor cantidad de iluminación.



CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE LOS EQUIPOS EN CORRIENTE CONTINUA, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	N° de equipos N	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
tubos de fluorecetes	75	8	13	7800
bombillo fluorecente de calle	60	1	3	180
tubos de fluorecentes	75	2	3	450
Total				8430

	CONSUMO DIARIO (kWh/día)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	CONSUMO ANUAL (kWh)
	8,43	252,9	3034,80
COSTO	\$2.774,31	\$83.229,39	\$998.752,68
	Valor kilo vatio \$329,1 el cual se multiplica por el consumo diario.	el consumo mensual se multiplica el consumo diario por 30 días del mes.	el consumo anual se multiplica el consumo mensual por 12 meses del

Tabla 7 Consumos y tiempo de uso y costos de Autoservicio SERVIMERCAR.

Los consumos del autoservicio SERVIMERCAR, reflejados en las facturas mensualmente son de 252,9 KWh, con un precio de \$83.229,39 en solo iluminación, se desea implementar un sistema de energía solar fotovoltaica que pueda reducir los costos y generar un ahorro económico para el autoservicio.

### 3.1.1. Características de los autoservicios

En estos autoservicios tienen un espacio para la instalación de los paneles fotovoltaicos sobre una superficie plana, y se tienen zonas que por la trayectoria del sol pueden generar sombra, además de esto el brillo solar en la zona donde se encuentran estos almacenes no es siempre la misma.

#### COOPERMERAR

En el autoservicio COOPERMERCAR con un área de **88m<sup>2</sup>**, en su interior tiene 48 luminarias, 7 bombillos de los cuales uno para el vestier y otro para el baño y los restantes en la parte externa de local.

#### SERVIMERCAR

En el autoservicio SERVIMERCAR, la iluminación son menores tan solo 10 luminarias y un bombillo en la parte externa del autoservicio, la necesidad de saber que número de luminaria se encuentran en estos autoservicios se utilizan estos datos para determinar el consumo para empezar a realizar los cálculos, otro dato importante es saber la radiación en esta zona, estos dos datos son los principales para iniciar con el cálculo del sistema.

Estos autoservicios están ubicados al suroriente de la ciudad en la localidad cuarta (San Cristóbal) de Bogotá, esta localidad se encuentra a 2.600 metros sobre el nivel del mar (msnm), rodeado por cadenas montañosas que superan los 3.500 msnm; la localidad se extiende sobre las montañas del eje principal de la cordillera, contra los cerros del páramo Cruz Verde [40].

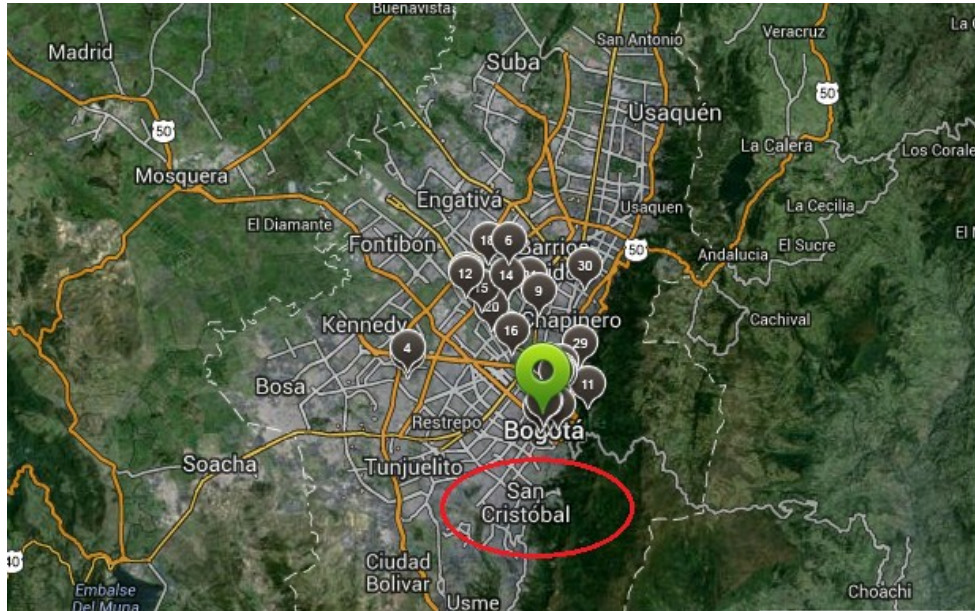


Figura 27 Ubicación geográfica localidad de San Cristóbal [41].

En la Figura 27, se muestra la localidad donde están estos autoservicios, en la Figura 28, se muestra el Autoservicio COOPERMERCAR y en la Figura 29 el Autoservicio SERVIMERCAR.

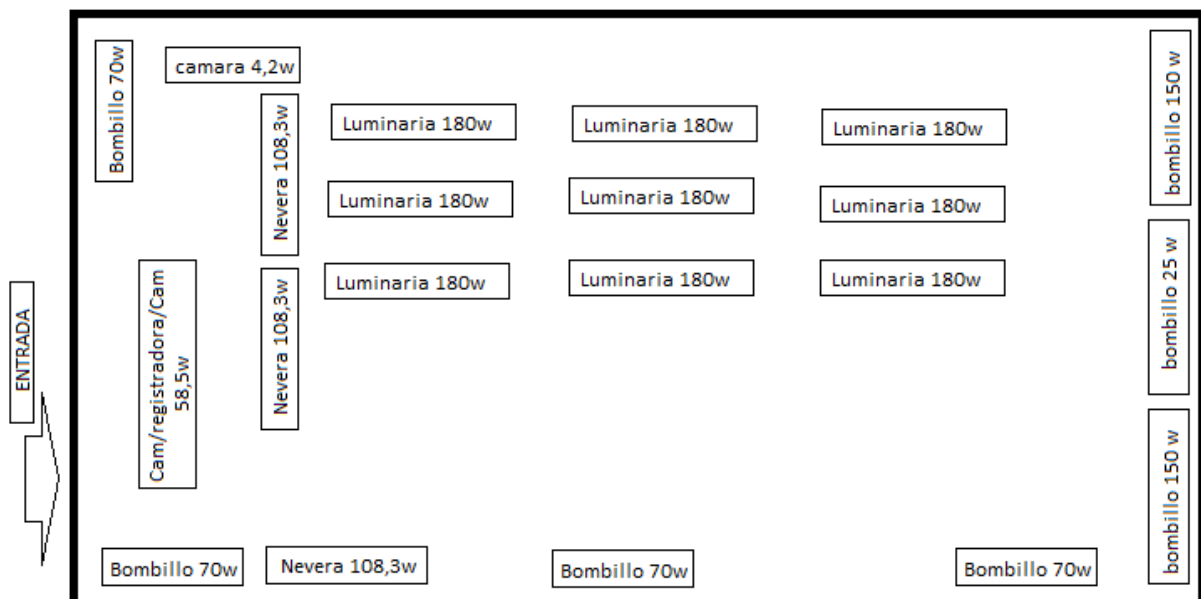


Figura 28. Autoservicio COOPERMERCAR



Figura 29. Autoservicio SERVIMERCAR

- Distribución de la iluminación COOPERMERCAR



- Figura 30. Esquema de distribución autoservicio COOPERMERCAR.

- Distribución de la iluminación SERVIMERCAR

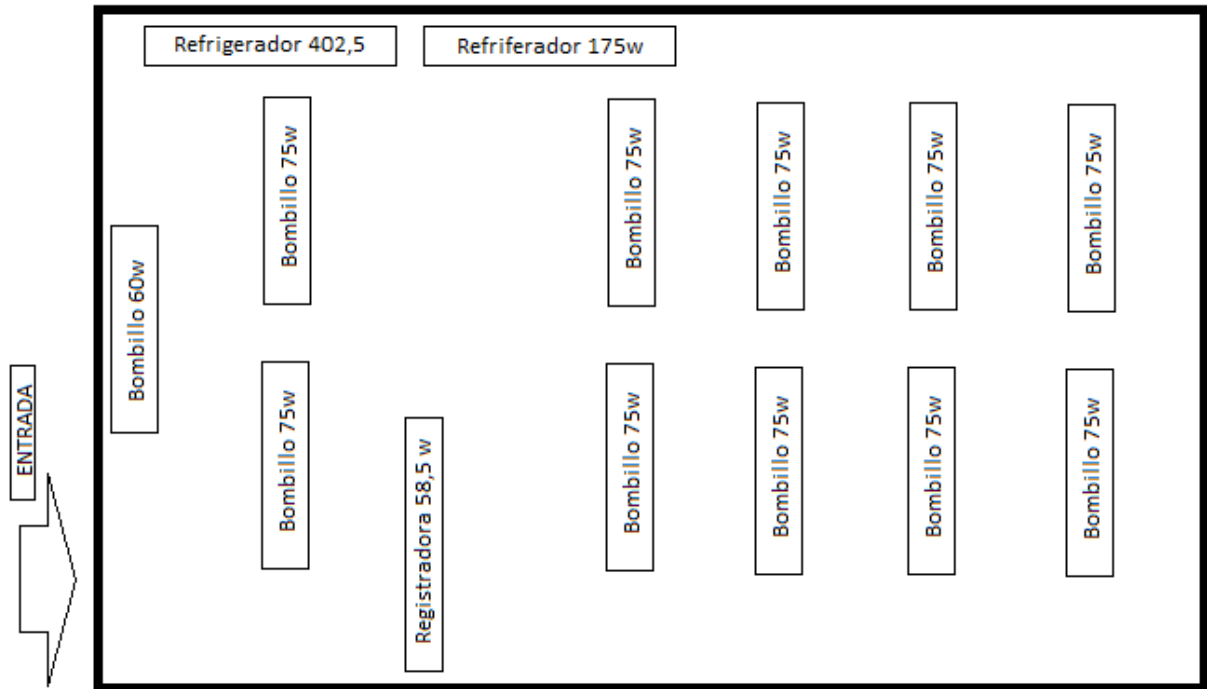


Figura 31. Esquema de distribución autoservicio SERVIMERCAR.

- Áreas seleccionadas para ubicar sistema energía solar fotovoltaico.



Figura 32 Área seleccionada para ubicar sistema energía fotovoltaica en COOPERMERCAR.



Figura 33. Área de instalación de módulos.

Empezando hablar del sistema fotovoltaico, para calcular los componentes se utilizan una serie de ecuaciones dadas para calcular el número de módulos fotovoltaicos, el regulador, el acumulador, el inversor y cableado respectivamente, estas se presentan a continuación:

### 3.2. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos se hacen en 3 pasos, teniendo en cuenta la radiación solar en esta zona de Bogotá, como se muestra en la Tabla 2, el mes con menor radiación es el que se toma para determinar en número de módulos fotovoltaicos.

RADIACIÓN MENSUAL Rm (w/m <sup>2</sup> día) 2012													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Inclinación	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	
Marcar la Rm elegida	4209,2	4365,1	3902,1	3702,7	3805,9	4090,0	4238,6	4133,1	4238,4	3747,5	3447,8	3826,0	3975,5
											X		

Tabla 8 radiación mensual

- Determinar el consumo de la instalación
- Calculo de watts pico necesarios, con la siguiente formula:

$$Wp = 1200 \times \frac{ED}{RD}$$

Ecuación 1. Watt pico necesarios [42].

Donde:

Wp = watts pico.

ED = energía consumida por día en KW.

RD = menor radiación mensual en el año de la zona en KW/m<sup>2</sup>.

c. Cálculo de número de módulos fotovoltaicos.

Al obtener la cantidad de watts pico totales, seleccionamos la potencia del panel que se va a usar (existe gran variedad en el mercado), y así se determina el número de módulos necesarios para el sistema.

$$N_p = \frac{W_p}{P_p \times 1.1}$$

*Ecuación 2. Número de paneles fotovoltaicos [3].*

Donde:

$N_p$ : número de paneles

$W_p$ : watts pico

$P_p$ : potencia del módulo elegido dada por el fabricante

### 3.3. Determinación del regulador

Este aparato debe ser capaz de soportar una potencia efectiva de, como mínimo, la potencia máxima del campo de paneles incrementada 10%. Siempre se hará lo posible porque allí un solo regulador en el sistema fotovoltaico, pero si no es así se calcula con la Ecuación 3.

$$N_r = \frac{N_{pp} * (I_{mp} * (1, 1))}{I_r}$$

*Ecuación 3. Número de reguladores [43].*

Donde:

$N_r$ : Número de reguladores.

$N_{pp}$ : Número de módulos conectados en paralelo

$I_{mp}$ : Intensidad en el punto de potencia máxima (característica eléctrica del módulo fotovoltaico), A.

$I_r$ : Intensidad máxima del regulador.

### 3.4. Selección del acumulador

Para el cálculo del acumulador se deben tener varios aspectos para determinar este, los cuales son:

#### 3.4.1. Número máximo de días de autonomía

Se trata del número máximo de días consecutivos que una instalación puede funcionar sin recibir radiación solar [43].

$$D = 3 \text{ días}$$

### 3.4.2. La profundidad de descarga máxima de la batería ( $P_d$ )

Los valores a tener en cuenta son:

- Acumuladores de ciclo profundo (Pb-Sb) 80%,  $P_d = 80$
- Acumuladores de ciclo superficial Pb-Ca) 40%,  $P_d = 40$

### 3.4.3. Perdidas por rendimiento del acumulador ( $P_{ac}$ )

Estas pérdidas se producen como consecuencia de la propia descarga en su ciclo carga y descarga. Se puede cifrar en un 10% [3].

### 3.4.4. Tensión de trabajo de la instalación ( $V$ )

Esta se elegirá en función de la potencia requerida por el sistema fotovoltaico y se pueden considerar los siguientes valores mostrados en la tabla 10 [3].

POTENCIA INSTALADA (W)	TENSIÓN CONTINUA (V)	MÁXIMA CORRIENTE CONTINUA (A)
Inferior a 400	12	33
De 400 a 5.000	24-48	210-105
Mayor de 5.000	48-120	105-41

Tabla 9 Tensión de trabajo en función de la potencia instalada, modificada en Word [3].

Con el fin de realizar el cálculo del sistema acumulador, se considera la energía necesaria del mes escogido ( $E_t$ ), modificada debidas al rendimiento del sistema, estimadas en un 10%.

En la siguiente ecuación se calcula la energía total de la instalación:

$$ET = E_t * \left(1 + \frac{10}{100}\right)$$

De esta se obtiene:

$$ET = E_t * 1,1$$

Ecuación 4. Energía total de la instalación [3].

De este modo, se puede calcular la capacidad del acumulador (C) es:

$$C = \frac{ET * D * 100}{P_d * V}$$

Ecuación 5. Capacidad del acumulador [3].

Donde:

C: Capacidad del acumulador

ET: Energía total de la instalación, (W\*h)/día

D: Números de días de autonomía, días.

$P_d$ : Profundidad máxima de descarga del sistema acumulador, %.

V: Tensión del sistema de acumulación, voltio.

### - Otros dispositivos

Para cálculo de otro dispositivo de esta tecnología se ve a continuación.

#### 3.4.5. Cálculo de la sección del cableado

Las tensiones de corriente continua con las que se trabaja en una instalación son muy bajas (12, 24 V), por tanto, las intensidades que circulan muy elevadas para alimentar las diferentes cargas resistivas, el mal cálculo de la sección equivale a una mayor resistencia lo que genera un calentamiento y mayor caída de tensión.

Para minimizar estos efectos, la longitud de los conductores del panel solar al regulador y al sistema de acumulación, deben ser lo más cortos posibles.

La sección de los conductores se elegirá de manera que su caída de tensión sea inferior a los valores mostrados en la Tabla 11.

PARTICULARIDAD DEL CABLEADO	CAIDA DE TENSIÓN ( $C_t$ )
Distancia entre el campo de paneles, reguladores y sistema de acumulación.	< 1%
Distancia entre sistema de acumulación e inversor.	< 1%
Cableado de iluminación.	< 2%
Línea general.	< 5%

Tabla 10. Porcentaje límite de tensión en el cableado de la instalación, modificada en Word [43].

Para calcular la sección de un conductor de cobre entre dos puntos, se aplica la Ecuación 12:

$$S = \frac{0,036 * I * I * 100}{V * C_t}$$

Ecuación 6. Sección del conductor [43].

Donde:

S: Sección mínima del conductor,  $mm^2$ .

I: Longitud de ida del cable, m.

I: Intensidad máxima, A.

V: tensión de trabajo del tramo de la instalación, V.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión, %



### 3.5. Selección de la estructura

La estructura seleccionada para la instalación fotovoltaica en los dos autoservicios y se muestra en la Figura 33.



Figura 34. Estructura de los módulos.

Para determinar el tipo de estructura que se va a utilizar, tenemos en cuenta las características físicas de los paneles solares que se van a manejar, en este caso se utilizarán paneles solares de marca Q.peak de origen alemán, con un peso de 19,8 kg y dimensiones de 1000mm x 1700mm. Para este caso se propone la siguiente estructura debido a su fácil instalación y adecuación en áreas específicas.

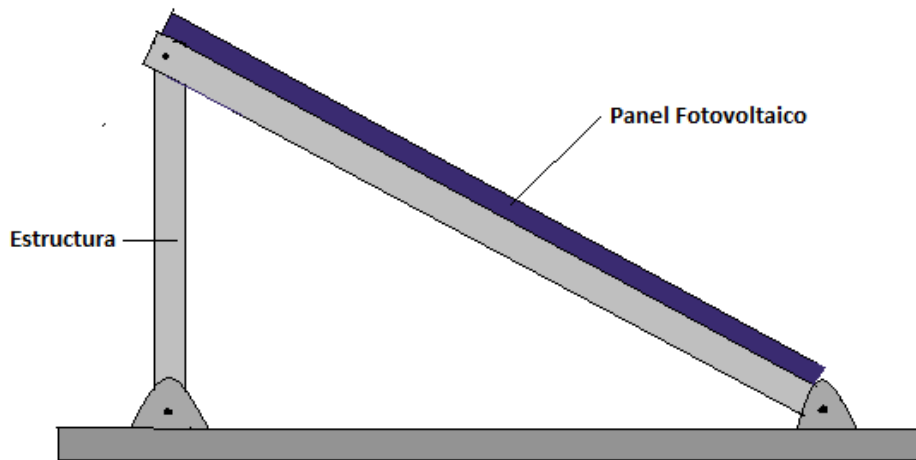


Figura 35. Estructura para modulo fotovoltaico.

En la ficha técnica de los paneles se muestra sus características como peso, longitud, ancho, etc.

**masa = 19,8 Kg**

**Ancho = 1m**

**Longitud = 1,7m**

Ya que por estructura se instalaran 4 paneles el peso se multiplica por cuatro y con este resultado se realizan los cálculos de la estructura.

**Peso panel = 194,04 N**

**W = 194,04N \* 3**

**W = 582,12N**

El peso de los tres paneles se divide en dos ya que la estructura tienen 2 puntos de apoyo al suelo lo que determina un peso de 291,06N, con este dato se determinan los cálculos.

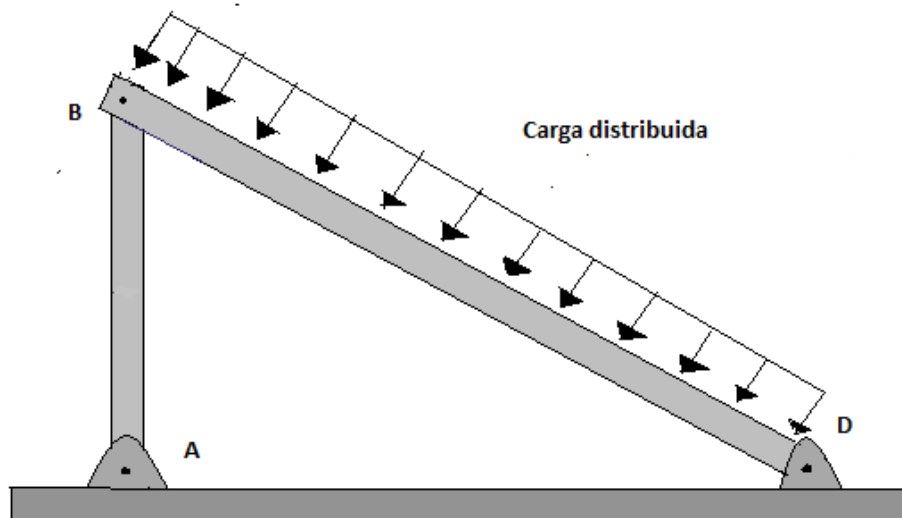


Figura 36. Carga distribuida en la estructura.

$$\text{Carga distribuida} = \frac{W}{A}$$

Donde:

W: Peso

A: Área de los paneles

$$*\text{Carga distribuida} = \frac{291,06N}{1,7m^2}$$

$$\text{Carga distribuida} = 171,21 \text{ N/m}^2$$

Ya que el panel tiene una forma rectangular el peso se concentra en el centro de la estructura en la sección BD, cuyo centroide se encuentra en la mitad de su longitud, donde como resultado una carga puntual de 171,21N como lo muestra la Figura, donde se muestra el diagrama de cuerpo libre.

#### DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE ELEMENTOS

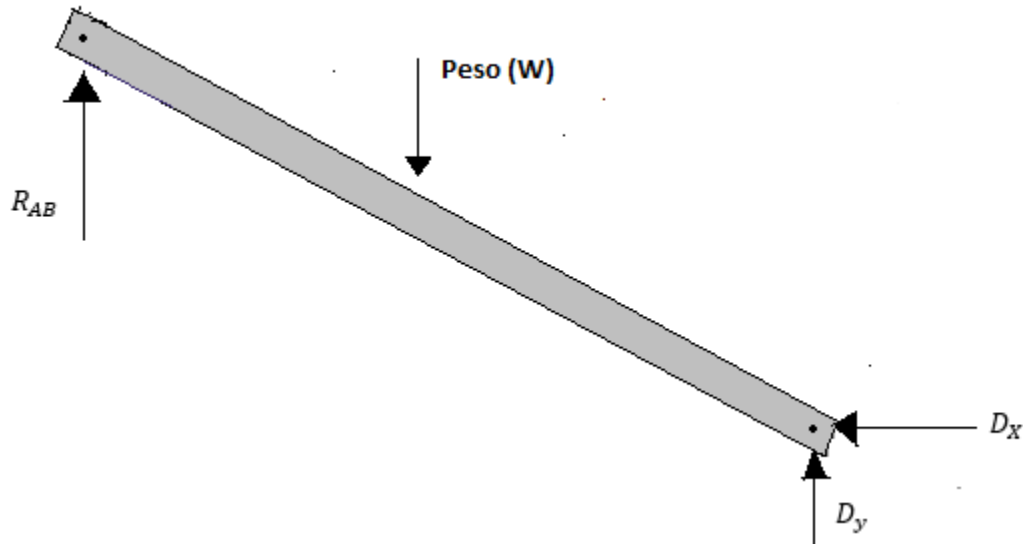


Figura 37 Diagrama de cuerpo libre elemento B.

- $\sum M_D = 0$

$$+(0,865m * 171,21N) - (1,73m * R_{AB}) = 0$$

$$R_{AB} = \frac{-(0,865m * 171,21N)}{-1,73m}$$

$$R_{AB} = 85,61N$$

- $\sum F_X = 0$

$$D_X = 0$$

- $\sum F_y = 0$

$$R_{AB} - 776,16N + D_y = 0$$

$$85,61N - 171,21N + D_y = 0$$

$$D_y = 85,6N$$

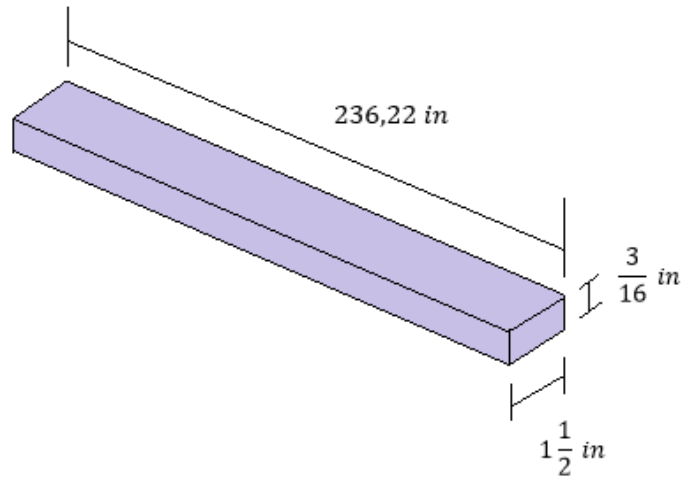


Figura 38 Perfil plano.

En la Figura 4 se muestra el perfil a utilizar en la estructura para los módulos fotovoltaicos, este elemento es un acero estructural ASTM A-36, cuyas características se muestran a continuación.

PERFIL PLANO ACERO ASTM A-36							
DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	DUREZA (HB)	LONGITUD (ft)	ESFUERZO MAXIMO (Mpa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	UNIDADES POR ESTRUCTURA	COSTO UNITARIO	COTO TOTAL
7850	128	6	400	250	2	\$70.000,00	\$140.000,00

Figura 39. Características perfil ASTM A-36 [44].

Con los datos anteriores se determina en elemento longitudinal AB los esfuerzos en esta sección, puesto que este elemento tiene una carga axial, para el elemento BD no se determinan los esfuerzos ya que este componente se determina de carga múltiple porque está soportando el peso de los módulos fotovoltaicos, a continuación se determina este cálculo:

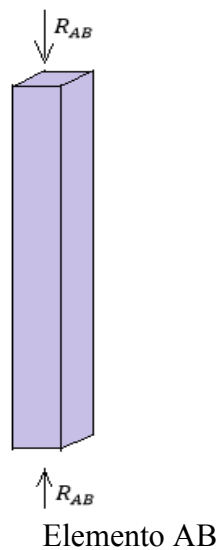


Figura 40. Diagrama cuerpo libre elemento AB.

El elemento AB se encuentra en compresión con la carga  $R_{AB}$  el cual es de **388,08 N**, con esta carga se determina el esfuerzo de la sección AB, y seguido los esfuerzos cortantes de los pernos.

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Fuerza interna}}{\text{Área}}$$

Ecuación 7. Esfuerzo normal admisible [45].

Este elemento está sometido a la fuerza  $R_{AB}$  esta es fuerza interna de la sección, teniendo las dimensiones para determinar el área se reemplaza en la fórmula:

$$\frac{3}{16} \text{ in} * \left( \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \right) = 4,76 \text{ mm} = 4,76 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \frac{1}{2} \text{ in} * \left( \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \right) = 38,1 \text{ mm} = 38,1 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{388,08 \text{ N}}{((4,7610^{-3}) * (38,110^{-3}))\text{m}}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{85,61 \text{ N}}{1,81 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{adm} = 47,3 \text{ kPa}$$

Determinado el esfuerzo normal admisible y teniendo el esfuerzo último, se halla el factor de seguridad del este elemento

$$Fs = \frac{\text{Carga ultima}}{\text{Carga permisible}}$$

Ecuación 8. Factor de seguridad [45].

$$Fs = \frac{400 * 10^6 \text{ Pa}}{47,3 * 10^3 \text{ Pa}}$$

$$Fs = 8456,66$$

Los pernos que sujetan la estructura están hechos del Acero AISI SAE 1020 cuyas características necesarias para realizar el cálculo:

TORNILLO ACERO AISI SAE 1020								
DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	DUREZA (HB)	LONGITUD (cm)	DIAMETRO (mm)	ESFUERZO DE MAXIMO (Mpa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	UNIDADES POR ESTRUCTURA	COSTO UNITARIO	COTO TOTAL
7870	111	10	8	308	205	6	\$1.000,00	\$6.000,00

Tabla 11. Información de tornillo.

## Tornillo A

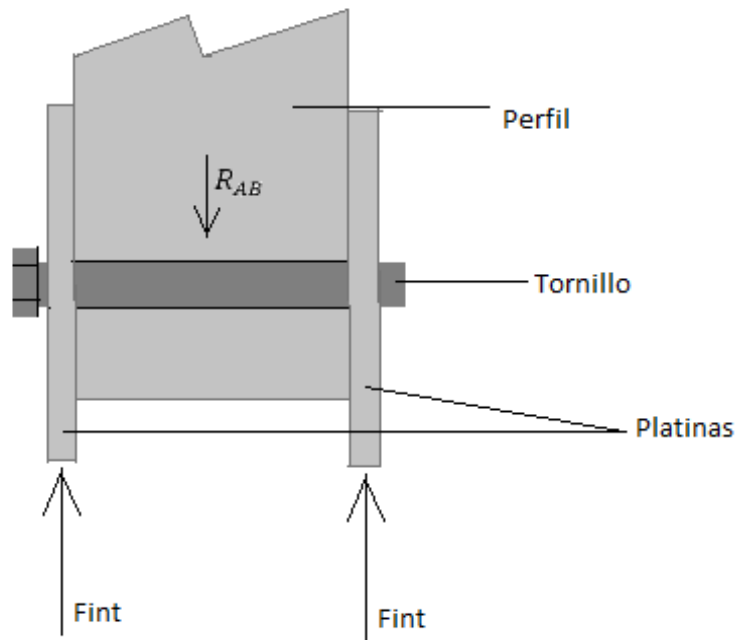


Figura 41. Esquema de fuerzas a tornillo.

Como se muestra en la Figura 42, el tornillo está sometido a tres fuerzas en el eje Y, dos de ellas en sentido positivo fuerza interna ( $F_{int}$ ) y una en forma negativa reacción en AB ( $R_{AB}$ ).

## Diagrama de cuerpo libre Tornillo

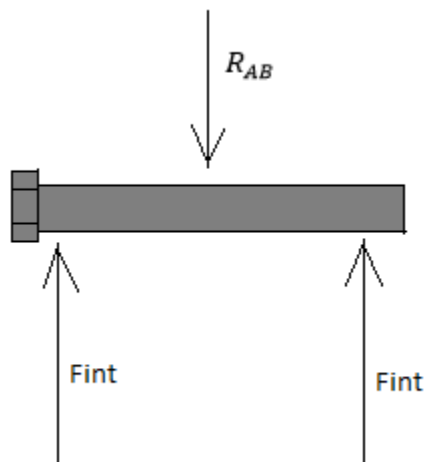


Figura 42. Diagrama de cuerpo libre tornillo A.

En la Figura 43, se muestra el diagrama de cuerpo libre del tornillo A, se determino  $R_{AB}$ , se determinan los esfuerzos en este elemento,

$$\tau = Fint$$

$$\tau = 85,61N$$

Con este esfuerzo se determina el cortante admisible con la Ecuación 11, para así hallar el factor de seguridad:

El perno tiene un diámetro de 8mm con este se determina el área transversal del elemento.

$$r = 4mm$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 4^2$$

$$A = 50,25mm^2 * \left( \frac{1m^2}{1000mm^2} \right) = 5,025 * 10^{-5}m^2$$

$$\tau_{adm} = \frac{Fint}{2A}$$

*Ecuación 9. Esfuerzo cortante admisible.*

$$\tau_{adm} = \frac{85,61N}{(2 * 5,025 * 10^{-5}m^2)}$$

$$\tau_{adm} = 851,84kPa$$

Con el esfuerzo cortante admisible y la carga última del material, se determina el factor de seguridad con la Ecuación 10.

Carga última: 308Mpa

$$Fs = \frac{308 * 10^6 Pa}{851,84 * 10^3 Pa}$$

$$Fs = 361,57$$

Ya que los tornillos A, B y D están sometidos a la misma carga, se deduce que los cálculos se aplican de igual manera para los tornillo B y D.

- La inclinación de los módulos fotovoltaicos debe estar ubicada de norte a sur, una recomendación general para la instalación de paneles solares en la ciudad de Bogotá indica que debe estar en un rango de 10° a 15° para aprovechar al máximo la radiación solar.

- Distancia entre paneles

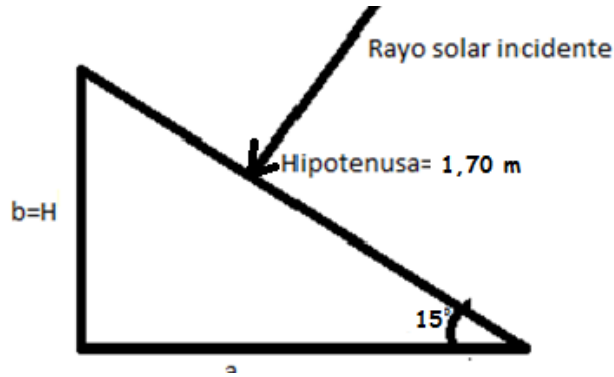


Figura 43. Triangulo para determinar la altura H.

$$\text{sen } \alpha = \frac{H}{\text{Hipotenusa}}$$

Ecuación 10. Identidad trigonométrica (seno).

$$\text{sen}15^\circ = \frac{H}{1,96m}$$

$$H = 1,70m \cdot \text{sen}15^\circ$$

$$H = 0,43m$$

Para determinar el cateto adyacente (a), se utiliza la identidad trigonométrica del triángulo rectángulo para hallarlo.

$$\text{cos } \alpha = \frac{a}{\text{Hipotenusa}}$$

Ecuación 11. Identidad trigonométrica (coseno).

$$\text{cos}15^\circ = \frac{a}{1,70m}$$

$$a = 1,70m \cdot \text{cos } 15^\circ$$

$$a = 1,64m$$

Con la altura (H) de **0,43m** y el Angulo  $\beta = 75^\circ$  se determina la distancia mínima ( $d_{min}$ ) que se debe tener en la instalación entre módulos con la Ecuación 5.

$$d_{min} = \frac{H}{\text{tan}\beta}$$

Ecuación 12. Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos [3].

$$d_{min} = \frac{0,43m}{\text{tan}75^\circ}$$



$$d_{min} = 0,11m$$

La distancia mínima entre los módulos fotovoltaicos para que estos no generen sombra y disminuya la eficiencia en los dos autoservicios, las celdas se deben separar **0,11m** escogiendo el tipo de anclaje para los locales. Con un Angulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos de **15°** en sentido norte sur, esta inclinación y distancia se sugiere para todas las opciones presentadas a continuación.

### 3.1. Opciones autoservicio COOPERMERCAR

A continuación se proponen algunas opciones de sistemas de energía solar fotovoltaica para abastecer el consumo de iluminación, teniendo en cuenta todos los factores necesarios.

#### 3.2.1 Opción 1

ILUMACION EN COOPERMERCAR	OPCION 1
48 Tubos fluorescentes 36watts	48 tubos LED de 10 watts 600mm
1 Bombillo vestir 150 watts	1 bombillo LED de 10 watts
1 bombillo baño 27 watts	1 bombillo LED de 10 watts
5 bombillos exterior 70 watts	5 bombillos LED de 10 watts

Tabla 12 sustituciones de iluminación, Opción 1

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de mercurio (20 a 25 mgHg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.

Bombillo	Consumo (W)	Nº de bombillos	Nº de horas de uso	Consumo mensual (Wh/día)
Tubo LED G5-01-1147T5-10W-120-EPI-NZ	10	48	14	6720
Lampara LED E27 10W	10	2	1	20
Lampara LED E27 10W	10	5	3	150
<b>Total</b>				<b>6890</b>

Tabla 13. Consumo de bombillos.

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la pérdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la Ecuación 13:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

$$E_1: 6890Wh/día$$

$$F_s: 15\%$$

$$ED = 6890 * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 7923,5Wh/día$$

Con el consumo diario por día se halla el número de paneles necesarios para la instalación, a continuación se describe:

### Módulos fotovoltaicos

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$

Teniendo en cuenta el consumo diario por día y la radiación del peor mes en la Tabla 4, se determina el número de paneles:

RADIACIÓN MENSUAL Rm (w/m^2día) 2012													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Inclinación	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	
Marcar la Rm elegida	4209,2	4365,1	3902,1	3702,7	3805,9	4090,0	4238,6	4133,1	4238,4	3747,5	3447,8	3826,0	3975,5
											X		

Tabla 14. Radiación mensual [46].

$$P_p = 1200 * \frac{7923,5Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 2757,78W$$

Teniendo la potencia pico a instalar y la potencia del módulo fotovoltaico mostrado en la ficha técnica (Anexo 1), ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente fórmula:

$$Np = \frac{P_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$Np = \frac{2757,78W}{1,1 * 250W}$$

$$Np = 10,03 \cong 10$$

### Acumulador

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 7923,5Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 8715,85,65Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{8715,85Wh/día * 3día * 100}{80 * 48V}$$

$$C = 680,93Ah$$

Se debe escoger una batería o un grupo de baterías con la capacidad calculada la cual es 648,50 Ah, como mínimo para el correcto funcionamiento, los 10 acumuladores escogidos son Mtek 12V100Ah (Anexo 2), 7 de ellos conectados en paralelo y los tres restantes en serie lo cual resulta con un voltaje 48V y amperaje 700Ah y cuya ficha técnica está a continuación.

### Regulador

Para la determinación del regulador se utilizalos siguientes datos:

$$N_p = 10$$

$$I_{mp} = 8,41A$$

$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{10 * 8,41A * 1,1}{70A}$$

$$N_r = 1,32 \cong 1$$

Realizados los cálculos con el regulador BlueSolar charge controller MPPT 150/70, cuya ficha técnica se muestra en la Anexo 3, dieron como resultado que se necesitan tan solo 1 controlador de estos para la instalación fotovoltaica.

### Inversor

Ya que los tubos led funcionan con corriente alterna se debe incluir este aparato el cual se tiene en cuenta con el voltaje de entrada que es de 48V en corriente continua y este lo transforma a y la potencia que se va a manejar, en el Anexo 4 se muestra la ficha técnica de este.

### Cableado

Para el cálculo del cableado de la instalación este se hace tramo a tramo para determinar la sección que debe llevar esta, se determina con la Ecuación 2.

$$S = \frac{N_p * I_{mp} * L * 100}{V * C_t}$$

*Ecuación 14. Sección cableado [47].*

Donde:

$L$ : Longitud de ida del cable

$I_{mp}$ : Intensidad máxima, A.

$V$ : Tensión de trabajo del tramo de la instalación.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión

### - Módulos-acumulador

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 10 módulos, 2 de ellos se conectaran en serie y los restantes en paralelo.

$L$ : 6m

$I_{mp}$ : 8,41<sup>a</sup>

$V$ : 48V

$N_{pp}$ : 8

Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual se describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

*Ecuación 15. Intensidad paneles conectados en paralelo [3].*

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$I_{sr} = 8 * 8,41A * 1,1$$

$$I_{sr} = 74A$$

La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 74A * 6m * 100}{48V * 1\%}$$
$$S = 33,3mm^2$$

### - Acumulador, inversor, regulador.

Para el cálculo de esta sección del cable es necesario tomar en cuenta la eficiencia del inversor el cual influye en la potencia en corriente alterna, para hallar  $P_2$  se multiplica por el consumo de cada bombillo por el número de estos, como se muestra en la Tabla 19, (consumos de los bombillos), este consumo es de:

Boblillos	Consumo(W)	N° de elementos	Consumo total (W)
Tubo led G5-011147T5-10W-120EPI-NZ	10	48	480
Lampara LED E27 10W	10	2	20
Lampara LED E27 10W	10	5	50
		<b>Total</b>	<b>550</b>

Tabla 15 consumo iluminación Led.

$$P_2 = 550W$$

Con la potencia de los consumos se determina la potencia con la eficiencia del inversor ( $P_3$ ) esta es de 94% ( $R_i$ ), y con la potencia con la eficiencia del inversor se determina la potencia real ( $P_{ca}$ ), para hallar la sección del cable en este tramo.

$$P_3 = P_2 * \left(\frac{100}{R_i}\right)$$

Ecuación 16. Eficacia del inversor [3].

$$P_3 = 550W * \left(\frac{100}{94}\right)$$

$$P_3 = 585,11W$$

Con  $P_3$  se determina la potencia real la cual se muestra en la Ecuación 4, y esta se utiliza para determinar la sección del cable para este tramo.

$$P_{ca} = P_3 * (1 + F_s/100)$$

Ecuación 17. Potencia real [47].

$$P_{ca} = 585,22W * (1 + 15/100)$$

$$P_{ca} = 669,55W$$

La tensión de trabajo de este tramo de la instalación es de 48 V y con este voltaje se determina la intensidad con la potencia real.

$$P = I * V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{669,55W}{48V}$$

$$I = 13,95A$$

Con la intensidad se utiliza para la fórmula de la sección del cable, a continuación se muestra:

$$S = \frac{0,036 * 13,95A * 2m * 100}{48V * 1\%}$$

$$S = 2,1mm^2$$

Para la sección del cable acumulador, inversor, regulador se determinó que es de  $2,1\text{mm}^2$ , este resultado se obtuvo teniendo en cuenta la intensidad del tramo la distancia y el voltaje que se maneja se obtiene el resultado.

#### - Línea

Para el cálculo de la sección de la línea se utiliza P3 para determinar la intensidad de este tramo, la tensión de trabajo es de 230 V, con estos datos se determina la intensidad:

$$I = \frac{585,11W}{120V}$$

$$I = 4,88A$$

$$S = \frac{0,036 * L * I * 100}{V * C_t}$$

$L: 19m$

$V: 230V$

Teniendo la intensidad, longitud y el voltaje de trabajo del inversor se determina el cableado de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 30m * 4,88A * 100}{230V * 5}$$

$$S = 0,46\text{mm}^2$$

En la elección de la sección del cableado dado por los cálculos se toma el conducto inmediatamente superior a este, para que este no se caliente y esto pueda afectar el funcionamiento de la instalación.

## Componentes opción 1

ELEMENTOS	N° DE ELEMENTOS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	10	\$600.000,00	\$6.000.000,00
Acumulador MT122550(12V255Ah)	10	\$322.700,00	\$3.227.000,00
Regulador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Inversor Victron Phoenix solar 48V 3000W	1	\$3.015.850,42	\$3.015.850,42
Tubos LED G5-01-1147T5-10W-120-EPI-NZ	48	\$35.000,00	\$1.680.000,00
Bombillos LED E27	7	\$38.000,00	\$266.000,00
Balastos tubos led	48	\$13.000,00	\$624.000,00
Cableado	2	50000	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500	\$45.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$15.521.207,84</b>

Tabla 16. Componentes opción 1.

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$15. 521. 207 y consta básicamente de 10 paneles solares, 10 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. El ahorro mensual en la factura de energía eléctrica convencional en iluminación es aproximadamente de \$222.330,09, lo que indica que en menos de 6 años se recupera la inversión, sin sacrificar la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad de 15 a 20 años.

### 3.2.2. Opción 2

Cambiar toda la iluminación fluorescente por iluminación tipo LED e implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que proporcione este consumo en iluminación.

ILUMACION EN COOPERMERCAR	OPCION 2
48 Tubos fluorescentes 36watts	20 tubos LED de 18 watts, 1200mm
1 Bombillo vestir 150 watts	1 bombillo LED de 10 watts
1 bombillo baño 27 watts	1 bombillo LED de 10 watts
5 bombillos exterior 70 watts	5 bombillos LED de 10 watts

Tabla 17 sustituciones de iluminación, Opción 2

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de

mercurio (20 a 25 mgHg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	N° de equipos N	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
Luz vestier	10	1	1	10
Luz baño	10	1	1	10
Luz almacen	18	20	14	5040
Luz de calle	10	5	3	150
Total				5210

Tabla 18 consumo con iluminación tipo LED.

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la perdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la ecuación:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

Donde:

$E_1$ : Consumo medio diario

$F_s$ : Factor de seguridad

Al desarrollar la ecuación con los datos que ya se tienen el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad es el siguiente:

Datos

$E_1$ : 5210Wh/día

$F_s$ : 15%

$$ED = 5210Wh/día * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 5991,5Wh/día$$

Con el consumo medio diario se determina el número de paneles el cual a continuación se describe la fórmula para hallar este:

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$



Teniendo el consumo diario medio y la radiación solar que se muestra en la tabla 14, en el mes de peor radiación se determina los vatios pico y con este el número de paneles:

$$P_p = 1200 * \frac{5991,5Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 2085,33Wh$$

Teniendo la potencia pico a instalar ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente formula:

$$p = \frac{W_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$Np = \frac{2085,33W}{1,1 * 250W}$$

$$Np = 7,58 \cong 8$$

El panel seleccionado para esta opción es el mono cristalino Q PEAK de 250 W cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 1:

#### - **Acumulador**

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 5991,5Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 6590,65Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{6590,65 * 1dia * 100}{80 * 24V}$$

$$C = 343,26Ah$$

Para esta opción se determina gracias a los cálculos de la capacidad del acumulador que se usara 6 acumuladores, dos grupos de tres acumuladores MT121200 (12V120AH) conectados en paralelo y estos dos conectados en serie, cuya conexión determina 24 voltios y 360 amperios, en el Anexo 5, se muestra la ficha técnica.

#### - **Regulador**

Para la determinación del regulador se utilizalos siguientes datos:

$$N_p = 8$$

$$I_{mp} = 8,41A$$

$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{8 * 8,41A * 1,1}{70A}$$
$$N_r = 1,06 \cong 1$$

El regulador elegido para esta opción es el BlueSolar charge controller MPPT 150/70, con la información que se encuentra en el Anexo 4, con el cual se determinó el número de reguladores.

#### - Cableado

Para el cálculo del cableado se utiliza el factor de seguridad determinado en 15%, en los tramos de la instalación, a continuación se muestran estos cálculos la fórmula para determinar la sección de este se muestra en la Ecuación 1.

$$S = \frac{Np * I_{mp} * L * 100}{V * C_t}$$

Donde:

$L$ : Longitud de ida del cable

$I_{mp}$ : Intensidad máxima, A.

$V$ : Tensión de trabajo del tramo de la instalación.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión

#### - Módulos-regulador-acumulador

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 8 módulos, 4 de ellos se conectaran en serie y los restantes en paralelo.

$L$ : 6m

$I_{mp}$ : 8,41<sup>a</sup>

$V$ : 24V

$N_{pp}$ : 4

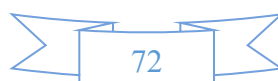
Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual se describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$I_{sr} = 4 * 8,41A * 1,1$$
$$I_{sr} = 37A$$



La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 4 * 37A * 6m * 100}{24V * 1\%}$$
$$S = 33,3mm^2$$

### - Iluminación

Para el cálculo de la sección de la iluminación se determina la potencia de corriente continua (Pcc), utilizando el factor de seguridad:

$$P1 = \sum N^{\circ} \text{ de elementos} * \text{consumo}$$

P1: Potencia de los consumos de la instalación.

$$P1 = (20 * 18W) + (5 * 10) + (2 * 10)$$
$$P1 = 430W$$

Con la potencia de los consumos se halla la potencia de corriente continua.

$$Pcc = P1 * \left(1 + \frac{Fs}{100}\right)$$
$$Pcc = 430W * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$
$$Pcc = 494,5W$$

Para hallar la intensidad de este tramo de la instalación se determina por la potencia de corriente continua con la siguiente formula.

$$P = I * V$$
$$Pcc = I * V$$

Sabiendo que la tensión es de 24V y teniendo la potencia de corriente continua se puede determinar la intensidad:

$$I = \frac{494,5W}{24V}$$
$$I = 20,6A$$

Ya teniendo todos los datos se puede determinar la sección del cable:

$$S = \frac{0,036 * 20,6A * 11m * 100}{24V * 2\%}$$

$$S = 17mm^2$$

### Componentes opción 2

ELEMENTOS	N° DE ELEMENTOS	PRECIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	8	\$600.000,00	\$4.800.000,00
Acumulador MT122550(12V255Ah)	10	\$265.000,00	\$2.650.000,00
Regulador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Inversor Victron Phoenix solar 48V 3000W	1	\$3.015.850,42	\$3.015.850,42
Tubos LED 30W/1600mm	20	\$35.000,00	\$700.000,00
Bombillos LED E27	7	\$38.000,00	\$266.000,00
balastros tubos led	20	\$13.000,00	\$260.000,00
Cableado	2	\$50.000,00	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000,00	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500,00	\$45.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$12.400.207,84</b>

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$12. 400. 207, y consta básicamente de 8 paneles solares, 10 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica en iluminación convencional aproximadamente de \$222.330,09, lo que indica que en menos de 5 años se recupera la inversión, sacrificando un poco la capacidad lumínica, pero manteniendo una iluminación adecuada para el autoservicio, teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor de 15 a 20 años.

### 3.2.3. Opción 3

Cambiar toda la iluminación fluorescente por iluminación tipo LED e implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que abastezca este consumo en iluminación.

ILUMACION EN COOPERMERCAR	OPCION 3
48 Tubos fluorescentes 36watts	9 Tubos LED de 30watts, 1800mm
1 Bombillo vestir 150 watts	1 Bombillo LED de 10 watts
1 bombillo baño 27 watts	1 Bombillo LED de 10 watts
5 bombillos exterior 70 watts	7 Bombillos LED de 10 watts

Tabla 19 sustituciones de iluminación, Opción 3

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana

por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de mercurio (20 a 25 mgHg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS EN ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	Nº de equipos N	Tiempo Wh/día	Energía (W.h)/día
Luz almacen	30	9	14	3780
Luz baño	10	1	1	10
Luz vestier	10	1	1	10
Luz de calle	10	7	3	210
Total				4010

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la pérdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la ecuación:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

Donde:

$E_1$ : Consumo medio diario

$F_s$ : Factor de seguridad

Al desarrollar la ecuación con los datos que ya se tienen el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad es el siguiente:

Datos

$E_1$ : 4010Wh/día

$F_s$ : 15%

$$ED = 4010Wh/día * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 4611,5Wh/día$$

Con el consumo medio diario se determina el número de paneles el cual a continuación se describe la fórmula para hallar este:

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$

Teniendo el consumo diario medio y la radiación solar que se muestra en la Tabla 14 del mes peor se determina los vatios pico y con este el número de paneles:

$$P_p = 1200 * \frac{4611,5Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 1605,02Wh$$

Teniendo la potencia pico a instalar ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente formula:

$$N_p = \frac{P_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$N_p = \frac{W}{1,1 * 250W}$$

$$N_p = 5,84 \cong 6$$

El panel seleccionado para esta opción es el mono cristalino Q PEAK de 250 W cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 1.

### Acumulador

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 4611,5Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 5072,65Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{5674,79 * 3dia * 100}{80 * 48V}$$

$$C = 443,34Ah$$

Para esta opción se determina que se utilizara 10 acumuladores, siete acumuladores MT121200 (12V70AH) conectados en paralelo y los restantes en serie, cuya conexión determina 48 voltios y 490 amperios, en el Anexo 6, se muestra la ficha técnica.

### Regulador

Para la determinación del regulador se utilizalos siguientes datos:

$$N_p = 6$$

$$I_{mp} = 8,41A$$

$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{6 * 8,41A * 1,1}{70A}$$

$$N_r = 0,79 \cong 1$$

El regulador elegido para esta opción es el BlueSolar charge controller MPPT 150/70, con la información que se encuentra en el Anexo 3, con esta información se determinó el número de reguladores.

### **Inversor**

Ya que los tubos led funcionan con corriente alterna se debe incluir este dispositivo el cual se tiene en cuenta con el voltaje de entrada que es de 48V en corriente continua y este lo transforma a corriente alterna y la potencia que se va a manejar 220v, en el Anexo 4, se muestra la ficha técnica de este..

### **Cableado**

Para el cálculo del cableado se utiliza el factor de seguridad determinado en 15%, en los tramos de la instalación, a continuación se muestran estos cálculos la fórmula para determinar la sección de este se muestra en la Ecuación 1.

$$S = \frac{0,036 * I_{mp} * L * 100}{V * C_t}$$

*Ecuación 18. Sección del cableado [48].*

Donde:

$L$ : Longitud de ida del cable

$I_{mp}$ : Intensidad máxima, A.

$V$ : Tensión de trabajo del tramo de la instalación.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión

### **Módulos-acumulador**

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 6 módulos, 4 de ellos se conectaran en serie y los restantes en paralelo.

$L$ : 6m

$I_{mp}$ : 8,41<sup>a</sup>

$V$ : 48V

$N_{pp}$ : 4

Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$I_{sr} = 4 * 8,41A * 1,1$$

$$I_{sr} = 37A$$

La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 37A * 6m * 100}{48V * 1\%}$$

$$S = 16,65mm^2$$

Acumulador, inversor

Para el cálculo de esta sección del cable es necesario tomar en cuenta la eficiencia del inversor el cual influye en la potencia en corriente alterna, para hallar  $P_2$  se multiplicada por el consumo de cada bombillo por el número de estos, como se muestra en la Tabla 3 (consumos de los bombillos), este consumo es de:

Boblillos	Consumo(W)	N° de elementos	Consumo total (W)
Tubo led 18W/2400mm	30	9	270
Lampara LED E27 10W	10	2	20
Lampara LED E27 10W	10	5	50
<b>Total</b>			<b>340</b>

$$P_2 = 340W$$

Con la potencia de los consumos se determina la potencia con la eficiencia del inversor ( $P_3$ ) esta es de 94% ( $R_i$ ), y con la potencia con la eficiencia del inversor se determina la potencia real ( $P_{ca}$ ), para hallar la sección del cable en este tramo.

$$P_3 = P_2 * \left(\frac{100}{R_i}\right)$$

Ecuación 19. Potencia real [47].

$$P_3 = 340W * \left(\frac{100}{94}\right)$$

$$P_3 = 361,7W$$

Con  $P_3$  se determina la potencia real la cual se muestra en la Ecuación 4, y esta se utiliza para determinar la sección del cable para este tramo.

$$P_{ca} = P_3 * (1 + F_s/100)$$
$$P_{ca} = 361,7W * (1 + 15/100)$$



$$P_{ca} = 415,96W$$

La tensión de trabajo de este tramo de la instalación es de 48 V y con este voltaje se determina la intensidad con la potencia real.

$$P = I * V$$
$$I = \frac{P}{V}$$
$$I = \frac{415,96W}{48V}$$
$$I = 8,67A$$

Con la intensidad se utiliza para la fórmula de la sección del cable, a continuación se muestra:

$$S = \frac{0,036 * 8,67A * 2m * 100}{48V * 1\%}$$

$$S = 1,3mm^2$$

#### - Línea

Para el cálculo de la sección de la línea se utiliza P3 para determinar la intensidad de este tramo, la tensión de trabajo es de 230 V, con estos datos se determina la intensidad:

$$I = \frac{361,7W}{230V}$$
$$I = 1,57A$$

$$S = \frac{0,036 * L * I * 100}{V * C_t}$$

L: 19m

V: 230V

Teniendo la intensidad, longitud y el voltaje de trabajo del inversor se determina el cableado de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 30m * 1,57A * 100}{230V * 5}$$

$$S = 0,15mm^2$$

### Componentes opción 3

ELEMENTOS	N° DE ELEMENTOS	PRECIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	6	\$600.000,00	\$3.600.000,00
Acumulador MT122550(12V255Ah)	10	\$256.250,00	\$2.562.500,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Regulador Victron Phoenix solar 48V 3000W	1	\$3.015.850,42	\$3.015.850,42
Tubos LED 38W/2400mm	9	\$35.000,00	\$315.000,00
Bombillos LED E27	9	\$38.000,00	\$342.000,00
balastros tubos led	9	\$13.000,00	\$117.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$10.660.707,84</b>

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$10. 660. 707, y consta básicamente de 6 paneles solares, 10 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica en iluminación convencional aproximadamente de \$222.330,09, lo que indica que en menos de 4 años se recupera la inversión, sacrificando la capacidad lumínica pero manteniendo una iluminación adecuada en el autoservicio, teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor a 15 a 20 años.

### 3.2. Opciones autoservicio SERVIMERCAR

#### 3.2.1. Opción 1

ILUMACION EN SERVIMERCAR	OPCION 1
10 Tubos fluorescentes 76watts	10 tubos LED de 18 watts 1200mm
1 Bombillo incandescente exterior 150 watts	1 bombillo LED de 10 watts

Tabla 20 sustituciones de iluminación, Opción 1

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de mercurio (20 a 25 mg/hg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	Bombillos	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
Luz almacen	18	8	13	1872
Luz calle	10	1	3	30
luz almacen temporal	18	2	3	108
Total				2010

Tabla 21 tabla consumos medios diarios de iluminación.

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la pérdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la ecuación:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

Donde:

$E_1$ : Consumo medio diario

$F_s$ : Factor de seguridad

Al desarrollar la ecuación con los datos que ya se tienen el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad es el siguiente:

Datos

$E_1$ : 2010Wh/día

$F_s$ : 15%

$$ED = 2010Wh/día * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 2311,5h/día$$

Con el consumo medio diario se determina el número de paneles el cual a continuación se describe la fórmula para hallar este:

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$

Teniendo el consumo diario medio y la radiación solar que se muestra en la tabla 2 del mes peor se determina los vatios pico y con este el número de paneles:

$$P_p = 1200 * \frac{2311,5Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 804,51Wh$$

Teniendo la potencia pico a instalar ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente fórmula:

$$Np = \frac{P_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$Np = \frac{804,51W}{1,1 * 250W}$$

$$Np = 2,92 \cong 3$$

El panel seleccionado para esta opción es el mono cristalino Q PEAK de 250 W cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 1.

### Acumulador

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 2311,5Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 2542,05Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{2542,05 * 3día * 100}{80 * 24V}$$

$$C = 397,19Ah$$

Para esta opción se determina gracias a los cálculos de la capacidad del acumulador que se usara 5 acumuladores MT121200 (12V100AH), 4 conectados en paralelo y el restante se conecta en serie, cuya conexión determina 24 voltios y 400 amperios, en el Anexo 7, se muestra la ficha técnica.

### Regulador

Para la determinación del regulador se utilízalos siguientes datos:

$$N_p = 8$$

$$I_{mp} = 8,41A$$

$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{3 * 8,41A * 1,1}{70A}$$

$$N_r = 0,39 \cong 1$$

El regulador elegido para esta opción es el BlueSolar charge controller MPPT 150/70, con la información que se encuentra en el Anexo 3, con el cual se determinó el número de reguladores.

## Inversor

Ya que los tubos led funcionan con corriente alterna se debe incluir este aparato el cual se tiene en cuenta con el voltaje de entrada que es de 24V en corriente continua el que se va a utilizar es el inversor PST-150S-12A\_24, este transforma a la potencia que se va a manejar, en el Anexo 8, se muestra la ficha técnica de este.

## Cableado

Para el cálculo del cableado se utiliza el factor de seguridad determinado en 15%, en los tramos de la instalación, a continuación se muestran estos cálculos la fórmula para determinar la sección de este se muestra en la Ecuación 1.

$$S = \frac{0,036 * I_{gr} * L * 100}{V * C_t}$$

Donde:

$L$ : Longitud de ida del cable

$I_{mp}$ : Intensidad máxima, A.

$V$ : Tensión de trabajo del tramo de la instalación.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión

### - Módulos-acumulador

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 3 módulos, 2 de ellos se conectaran en serie y los restantes en paralelo.

$L$ : 4m

$I_{mp}$ : 8,41A

$V$ : 24V

$N_{pp}$ : 2

Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$\begin{aligned} I_{sr} &= 2 * 8,41A * 1,1 \\ &= 18,5A \end{aligned}$$

La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 4m * 18,5A * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 11,1mm^2$$

- **Acumulador, inversor, regulador.**

Para el cálculo de esta sección del cable es necesario tomar en cuenta la eficiencia del inversor el cual influye en la potencia en corriente alterna, para hallar  $P_2$  se multiplicada por el consumo de cada bombillo por el número de estos, como se muestra en la Tabla 3 (consumos de los bombillos), este consumo es de:

Boblillos	Consumo(W)	N° de elementos	Consumo total (W)
Tubo led 18W/2400mm	18	8	144
Lampara LED E27 10W	18	2	36
Lampara LED E27 10W	10	1	10
		<b>Total</b>	<b>190</b>

Tabla 22 consumo bombillo led

$$P_2 = 190W$$

Con la potencia de los consumos se determina la potencia con la eficiencia del inversor ( $P_3$ ) esta es de 85% ( $R_i$ ) y con la potencia con la eficiencia del inversor se determina la potencia real ( $P_{ca}$ ), para hallar la sección del cable en este tramo.

$$P_3 = P_2 * \left(\frac{100}{R_i}\right).$$

$$P_3 = 190W * \left(\frac{100}{85}\right)$$

$$P_3 = 223,53W$$

Con  $P_3$  se determina la potencia real la cual se muestra en la Ecuación 4, y esta se utiliza para determinar la sección del cable para este tramo.

$$P_{ca} = P_3 * (1 + F_s/100)$$

$$P_{ca} = 223,53W * (1 + 15/100)$$

$$P_{ca} = 257,06W$$

La tensión de trabajo de este tramo de la instalación es de 24 V y con este voltaje se determina la intensidad con la potencia real.

$$P = I * V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{257,06W}{24V}$$

$$I = 10,71A$$

Con la intensidad se utiliza para la fórmula de la sección del cable, a continuación se muestra:

$$S = \frac{0,036 * 10,71A * 1,5m * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 2,41mm^2$$

#### - Línea

Para el cálculo de la sección de la línea se utiliza P3 para determinar la intensidad de este tramo, la tensión de trabajo es de 120 V, con estos datos se determina la intensidad:

$$I = \frac{223,53W}{120V}$$

$$I = 1,86A$$

$$S = \frac{0,036 * L * I * 100}{V * C_t}$$

L: 19m

V: 120V

Teniendo la intensidad, longitud y el voltaje de trabajo del inversor se determina el cableado de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 19m * 1,86A * 100}{120V * 5}$$

$$S = 0,21mm^2$$

## Componentes opción 1

ELEMENTOS	Nº DE ELEMENTOS	PRECIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	3	\$600.000,00	\$1.800.000,00
Acumulador MT122550(12V100Ah)	5	\$256.250,00	\$1.281.250,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
inversor PST-150S-12A 24	1	\$966.000,00	\$966.000,00
Tubos LED 18W/1200mm	10	\$35.000,00	\$350.000,00
Bombillos LED E27	1	\$38.000,00	\$38.000,00
balastos tubos led	10	\$13.000,00	\$130.000,00
Cableado	2	50000	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500	\$45.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$5.273.607,42</b>

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$5. 273. 607, y consta básicamente de 3 paneles solares, 5 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica convencional en iluminación aproximadamente de \$83.229,39, lo que indica que en menos de 5 años se recupera la inversión, sin sacrificar la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor de 15 a 20 años.

### 3.2.2. Opción 2

ILUMINACION EN SERVIMERCAR	OPCION 2
10 Tubos fluorescentes 76watts	9 tubos LED de 30 watts 1800mm
1 Bombillo incandescente exterior 150 watts	1 bombillo LED de 10 watts

Tabla 23 sustituciones de iluminación, Opción 2

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de mercurio (20 a 25 mg/hg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.



CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	Nº de equipos N	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
Luz almacen (Tubo LED 30W/1200mm)	30	7	13	2730
luz almacen (Bombillo LED 10W)	10	1	3	30
Tubo led (Tubo LED 30W/2400mm)	30	2	3	180
Total				2940

Tabla 24 consumos medios diarios de iluminación.

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la perdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la ecuación:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

Donde:

$E_1$ : Consumo medio diario

$F_s$ : Factor de seguridad

Al desarrollar la ecuación con los datos que ya se tienen el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad es el siguiente:

Datos

$E_1$ : 2850,5Wh/día

$F_s$ : 15%

$$ED = 2940Wh/día * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 3381,1Wh/día$$

Con el consumo medio diario se determina el número de paneles el cual a continuación se describe la fórmula para hallar este:

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$

Teniendo el consumo diario medio y la radiación solar que se muestra en la tabla 34 del peor mes se determina los vatios pico y con este el número de paneles:

$$P_p = 1200 * \frac{3381,1Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 1176,78Wh$$

Teniendo la potencia pico a instalar ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente formula:

$$Np = \frac{W_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$Np = \frac{1140,72W}{1,1 * 250W}$$

$$Np = 4,2 \cong 4$$

El panel seleccionado para esta opción es el mono cristalino Q PEAK de 250 W cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 1.

### Acumulador

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 3381,1Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 3719,21Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{3719,21Wh/día * 3día * 100}{80 * 24V}$$

$$C = 581,13Ah$$

Para esta opción se determina gracias a los cálculos de la capacidad del acumulador que se usara 5 acumuladores MT121200 (12V155AH), 4 conectados en paralelo y el restante en serie, cuya conexión determina 24 voltios y 620 amperios, en el Anexo 9, se muestra la ficha técnica.

### Regulador

Para la determinación del regulador se utilizalos siguientes datos:

$$N_p = 4$$

$$I_{mp} = 8,41A$$

$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{4 * 8,41A * 1,1}{70A}$$

$$N_r = 0,53 \cong 1$$

El regulador elegido para esta opción es el BlueSolar charge controller MPPT 150/70, con la información que se encuentra en el Anexo 3, con el cual se determinó el número de reguladores.

### **Inversor**

Ya que los tubos led funcionan con corriente alterna se debe incluir este aparato el cual se tiene en cuenta con el voltaje de entrada que es de 24V en corriente continua y este lo transforma a y la potencia que se va a manejar, en el Anexo 9, se muestra la ficha técnica de este.

### **Cableado**

Para el cálculo del cableado se utiliza el factor de seguridad determinado en 15%, en los tramos de la instalación, a continuación se muestran estos cálculos la fórmula para determinar la sección de este se muestra en la Ecuación 1.

$$S = \frac{0,036 * I_{gr} * L * 100}{V * C_t}$$

Donde:

$L$ : Longitud de ida del cable

$I_{mp}$ : Intensidad máxima, A.

$V$ : Tensión de trabajo del tramo de la instalación.

$C_t$ : Porcentaje de caída de tensión

### **- Módulos-acumulador**

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 4 módulos, 3 de ellos se conectaran paralelo y el restante en serie.

$L$ : 4m

$I_{mp}$ : 8,41A

$V$ : 24V

$N_{pp}$ : 3

Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$I_{sr} = 3 * 8,41A * 1,1$$
$$I_{sr} = 27,75A$$

La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 4m * 27,75A * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 16,64mm^2$$

- **Acumulador, inversor, regulador**

Para el cálculo de esta sección del cable es necesario tomar en cuenta la eficiencia del inversor el cual influye en la potencia en corriente alterna, para hallar  $P_2$  se multiplicada por el consumo de cada bombillo por el número de estos, como se muestra en la Tabla 3 (consumos de los bombillos), este consumo es de:

Boblillos	Consumo(W)	N° de elementos	Consumo total (W)
Tubo led Tubo LED 30W/1600mm	30	7	210
Bombillo 10W	10	1	10
yubo LED 30W/1600mm	30	2	60
<b>Total</b>			<b>280</b>

Tabla 25 consumo iluminación led.

$$P_2 = 280W$$

Con la potencia de los consumos se determina la potencia con la eficiencia del inversor ( $P_3$ ) esta es de 85% ( $R_i$ ), y con la potencia con la eficiencia del inversor se determina la potencia real ( $P_{ca}$ ), para hallar la sección del cable en este tramo.

$$P_3 = P_2 * \left(\frac{100}{R_i}\right)$$

$$P_3 = 280W * \left(\frac{100}{85}\right)$$

$$P_3 = 329,41W$$

Con  $P_3$  se determina la potencia real la cual se muestra en la Ecuación 16, y esta se utiliza para determinar la sección del cable para este tramo.

$$P_{ca} = P_3 * (1 + F_s/100)$$

$$P_{ca} = 329,41W * (1 + 15/100)$$

$$P_{ca} = 378,82W$$

La tensión de trabajo de este tramo de la instalación es de 24 V y con este voltaje se determina la intensidad con la potencia real.

$$P = I * V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{378,82W}{24V}$$

$$I = 15,78A$$

Con la intensidad se utiliza para la fórmula de la sección del cable, a continuación se muestra:

$$S = \frac{0,036 * 15,78A * 1,5m * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 3,55mm^2$$

#### - Línea

Para el cálculo de la sección de la línea se utiliza P3 para determinar la intensidad de este tramo, la tensión de trabajo es de 120 V, con estos datos se determina la intensidad:

$$I = \frac{329,41W}{120V}$$

$$I = 2,74A$$

$$S = \frac{0,036 * L * I * 100}{V * C_t}$$

*L: 19m*

*V: 120V*

Teniendo la intensidad, longitud y el voltaje de trabajo del inversor se determina el cableado de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 19m * 2,74A * 100}{120V * 5}$$

$$S = 0,31mm^2$$

## Componentes opción 2

ELEMENTOS	N° DE ELEMENTOS	PRECIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	4	\$600.000,00	\$2.400.000,00
Acumulador MT122550(12V155Ah)	5	\$482.000,00	\$2.410.000,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Inversor PST-150S-12A_24	1	\$966.000,00	\$966.000,00
Tubos LED 30W/1600mm	9	\$45.000,00	\$405.000,00
Bombillos LED E27	1	\$38.000,00	\$38.000,00
balastros tubos led	9	\$13.000,00	\$117.000,00
Cableado	2	50000	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500	\$45.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$7.044.357,42</b>

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$7. 044. 357, y consta básicamente de 3 paneles solares, 5 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica convencional en iluminación aproximadamente de \$83.229,39, lo que indica que en menos de 7 años se recupera la inversión, aumentando levemente la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor a 15 a 20 años.

### 3.2.3. Opción 3

ILUMACION EN SERVIMERCAR	OPCION 3
10 Tubos fluorescentes 76watts	8 tubos LED de 38 watts 2400mm
1 Bombillo incandescente exterior 150 watts	1 bombillo LED de 10 watts

Tabla 26 sustituciones de iluminación, Opción 3

La eficiencia de la tecnología Led es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola por más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 w se puede reemplazar por un bombillo Led de 5 w, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía. Además, se ha demostrado que la iluminación fluorescente es perjudicial para la salud humana por su radiación y, también trae consecuencias para el medio ambiente debido a su composición de mercurio (20 a 25 mgHg miligramos de mercurio) y al final de su vida útil se debe tratar como residuo peligroso ya que puede causar envenenamiento por su manipulación.

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc.				
Elementos de consumo	Potencia (W) P	N° de equipos N	Tiempo h/día	Energía (W.h)/día
Luz almacén	38	6	13	2964
Luz calle	10	1	3	30
Tubo led	38	2	3	228
Total				3222

Tabla 27 consumos medios diarios de iluminación.

Para empezar los cálculos de los elementos de la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el factor de seguridad, el cual es la pérdida que se presentan en el cableado y este se recomienda estimarlo en 15%.

Con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad (ED) se determina con la ecuación:

$$ED = E_1 * \left(1 + \frac{F_s}{100}\right)$$

Donde:

$E_1$ : Consumo medio diario

$F_s$ : Factor de seguridad

Al desarrollar la ecuación con los datos que ya se tienen el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad es el siguiente:

Datos

$E_1$ : 3222Wh/día

$F_s$ : 15%

$$ED = 3222Wh/día * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$ED = 3705,3Wh/día$$

Con el consumo medio diario se determina el número de paneles el cual a continuación se describe la fórmula para hallar este:

$$W_p = 1200 * \frac{ED}{Rad}$$

Teniendo el consumo diario medio y la radiación solar que se muestra en la del mes peor se determina los vatios pico y con este el número de paneles:

$$P_p = 1200 * \frac{3705,3Wh/día}{3447,8W/m^2}$$

$$P_p = 1289,62Wh$$

Teniendo la potencia pico a instalar ya se puede hallar el número de paneles con la siguiente formula:

$$Np = \frac{P_p}{1,1 * P_{max}}$$

$$Np = \frac{1289,62W}{1,1 * 250W}$$

$$Np = 4,7 \cong 5$$

El panel seleccionado para esta opción es el mono cristalino Q PEAK de 250 W cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 1.

### Acumulador

Para determinar el acumulador o grupo de acumuladores se utiliza la energía total (ET) que se determina a continuación, con el consumo diario de iluminación con el factor de seguridad:

$$E_T = ED * 1,1$$

$$E_T = 3705,3Wh/día * 1,1$$

$$E_T = 4075,83Wh/día$$

Con la energía total ( $E_T$ ) se halla la capacidad del acumulador el cual se puede determinar la batería o grupo de acumuladores, necesarios para la instalación.

$$C = \frac{E_T * D * 100}{P_d * V}$$

$$C = \frac{4075,83Wh/día * 3día * 100}{80 * 24V}$$

$$C = 636,85Ah$$

Para esta opción se determina gracias a los cálculos de la capacidad del acumulador que se usara 8 acumuladores, 7 conectados en paralelo y un acumulador en serie MT121200 (12V100AH), cuya conexión determina 24 voltios y 700 amperios, en el Anexo 10 se muestra la ficha técnica.

### Regulador

Para la determinación del regulador se utilizalos siguientes datos:

$$N_p = 5$$

$$I_{mp} = 8,41A$$



$$I_r = 70A$$

$$N_r = \frac{5 * 8,41A * 1,1}{70A}$$
$$N_r = 0,66 \cong 1$$

El regulador elegido para esta opción es el BlueSolar charge controller MPPT 150/70, con la información que se encuentra en la Anexo 3, con el cual se determinó el número de reguladores.

### Cableado

Para el cálculo del cableado se utiliza el factor de seguridad determinado en 15%, en los tramos de la instalación, a continuación se muestran estos cálculos la fórmula para determinar la sección de este se muestra en la Ecuación 1.

$$S = \frac{0,036 * I_{gr} * L * 100}{V * C_t}$$

#### - Módulos-acumulador

Ya que en los cálculos anteriores se determinó que se requieren 4 módulos, 3 de ellos se conectaran paralelo y el restante en serie.

L: 4m

$I_{mp}$ : 8,41A

V: 24V

$N_{pp}$ : 4

Para hallar la sección del cable de este tramo de la instalación, se tiene que realizar el cálculo del  $I_{sr}$  el cual se describe a continuación:

$$I_{sr} = N_{pp} * I_{mp} * 1,1$$

$N_{pp}$ : N° de módulos conectados en paralelo

Se realiza la sustitución:

$$I_{sr} = 4 * 8,41A * 1,1$$
$$I_{sr} = 37A$$

La intensidad ( $I_{sr}$ ), es la que se maneja para hallar la sección de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 4m * 37A * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 22,2\text{mm}^2$$

- **Acumulador, inversor, regulador.**

Para el cálculo de esta sección del cable es necesario tomar en cuenta la eficiencia del inversor el cual influye en la potencia en corriente alterna, para hallar  $P_2$  se multiplicada por el consumo de cada bombillo por el número de estos, como se muestra en la Tabla 3 (consumos de los bombillos), este consumo es de:

Boblillos	Consumo(W)	N° de elementos	Consumo total (W)
Tubo led Tubo LED 38W/2400mm	38	7	266
Bombillo 10W	10	1	10
Tubo LED 30W/2400mm	38	2	76
		<b>Total</b>	<b>352</b>

Tabla 28 consumo iluminación Led

$$P_2 = 352W$$

Con la potencia de los consumos se determina la potencia con la eficiencia del inversor ( $P_3$ ) esta es de 85% ( $R_i$ ), y con la potencia con la eficiencia del inversor se determina la potencia real ( $P_{ca}$ ), para hallar la sección del cable en este tramo.

$$P_3 = P_2 * \left(\frac{100}{R_i}\right)$$

$$P_3 = 352W * \left(\frac{100}{85}\right)$$

$$P_3 = 414,12W$$

Con  $P_3$  se determina la potencia real la cual se muestra en la Ecuación 16, y esta se utiliza para determinar la sección del cable para este tramo.

$$P_{ca} = P_3 * (1 + F_s/100)$$

$$P_{ca} = 414,12W * (1 + 15/100)$$

$$P_{ca} = 476,24W$$

La tensión de trabajo de este tramo de la instalación es de 24 V y con este voltaje se determina la intensidad con la potencia real.

$$P = I * V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{476,24W}{24V}$$

$$I = 19,84A$$

Con la intensidad se utiliza para la fórmula de la sección del cable, a continuación se muestra:

$$S = \frac{0,036 * 19,84A * 1,5m * 100}{24V * 1\%}$$

$$S = 4,46mm^2$$

#### - Línea

Para el cálculo de la sección de la línea se utiliza P3 para determinar la intensidad de este tramo, la tensión de trabajo es de 120 V, con estos datos se determina la intensidad:

$$I = \frac{414,12W}{120V}$$

$$I = 3,45A$$

$$S = \frac{0,036 * L * I * 100}{V * C_t}$$

L: 19m

V: 120V

Teniendo la intensidad, longitud y el voltaje de trabajo del inversor se determina el cableado de este tramo:

$$S = \frac{0,036 * 19m * 3,45A * 100}{120V * 5}$$

$$S = 0,39mm^2$$

#### Componentes opción 3

ELEMENTOS	Nº DE ELEMENTOS	PRECIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	5	\$600.000,00	\$3.000.000,00
Acumulador MT122550(12V155Ah)	8	\$322.700,00	\$2.581.600,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Inversor PST-150S-12A_24	1	\$966.000,00	\$966.000,00
Tubos LED 18W/1200mm	6	\$45.000,00	\$270.000,00
Bombillos 10W	1	\$38.000,00	\$38.000,00
balastros tubos led	6	\$13.000,00	\$78.000,00
Cableado	2	50000	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500	\$45.000,00

<b>TOTAL</b>			<b>\$7.641.957,42</b>

- Se propone en esta opción, una instalación de energía solar fotovoltaica cuyo costo de inversión es de \$7. 641. 957, y consta básicamente de 5 paneles solares, 8 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica convencional aproximadamente de \$83.229,39, lo que indica que en menos de 8 años se recupera la inversión, aumentando notablemente la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor de 15 a 20 años.

### 3.3. Planos de distribución.

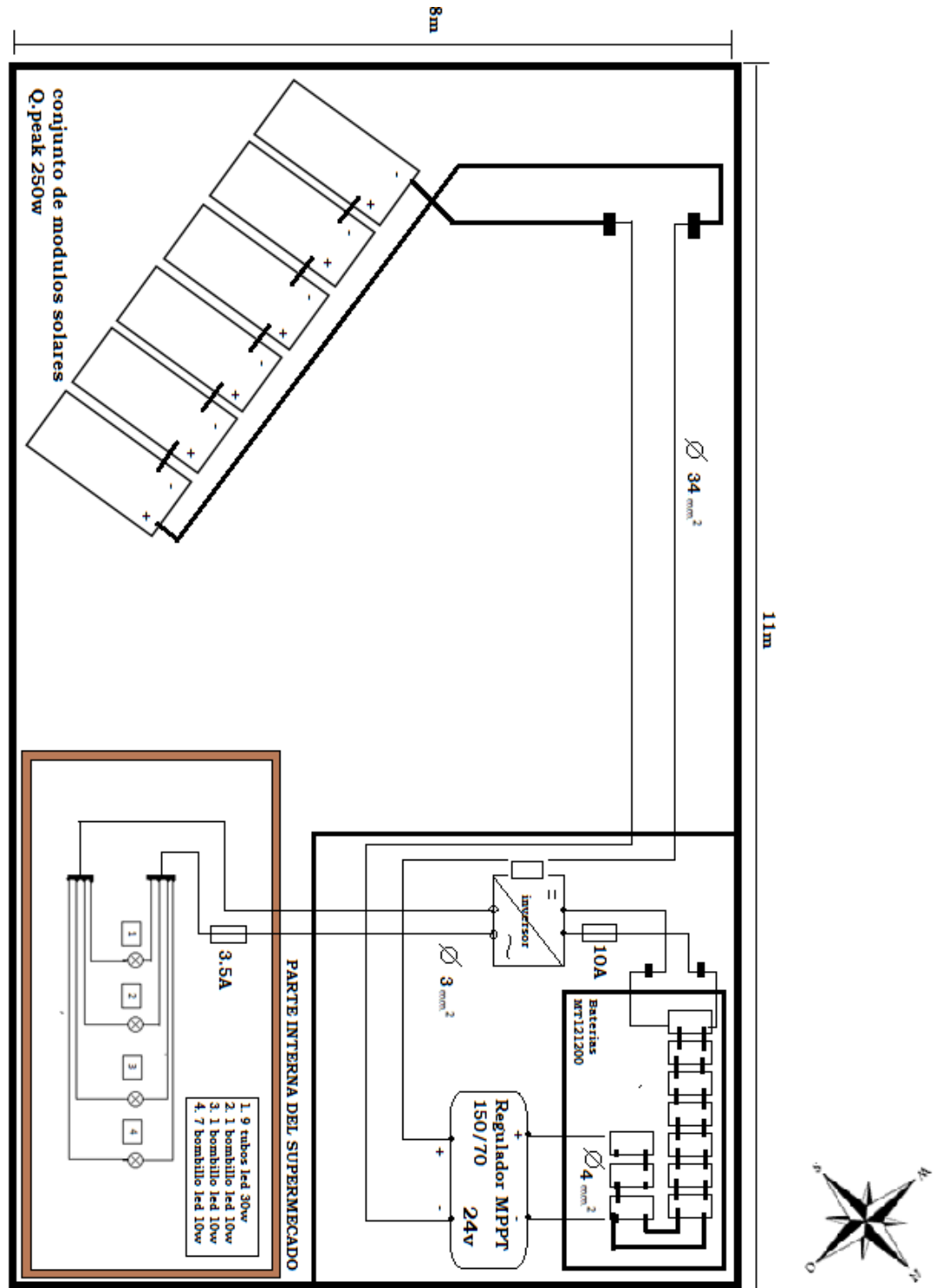


Figura 44 Planos de distribución COOPERMERCAR.

**Nota:** Para el supermercado COOPERMERCAR se determina que se deben usar 6 paneles solares de 250w, 10 acumuladores 12v 70<sup>h</sup>, un regulador, un inversor, y demás elementos del sistema, la ubicación de los aparatos del sistema solar fotovoltaico se organizan de tal manera que se pueda aprovechar al máximo el espacio y la eficiencia de los componentes.

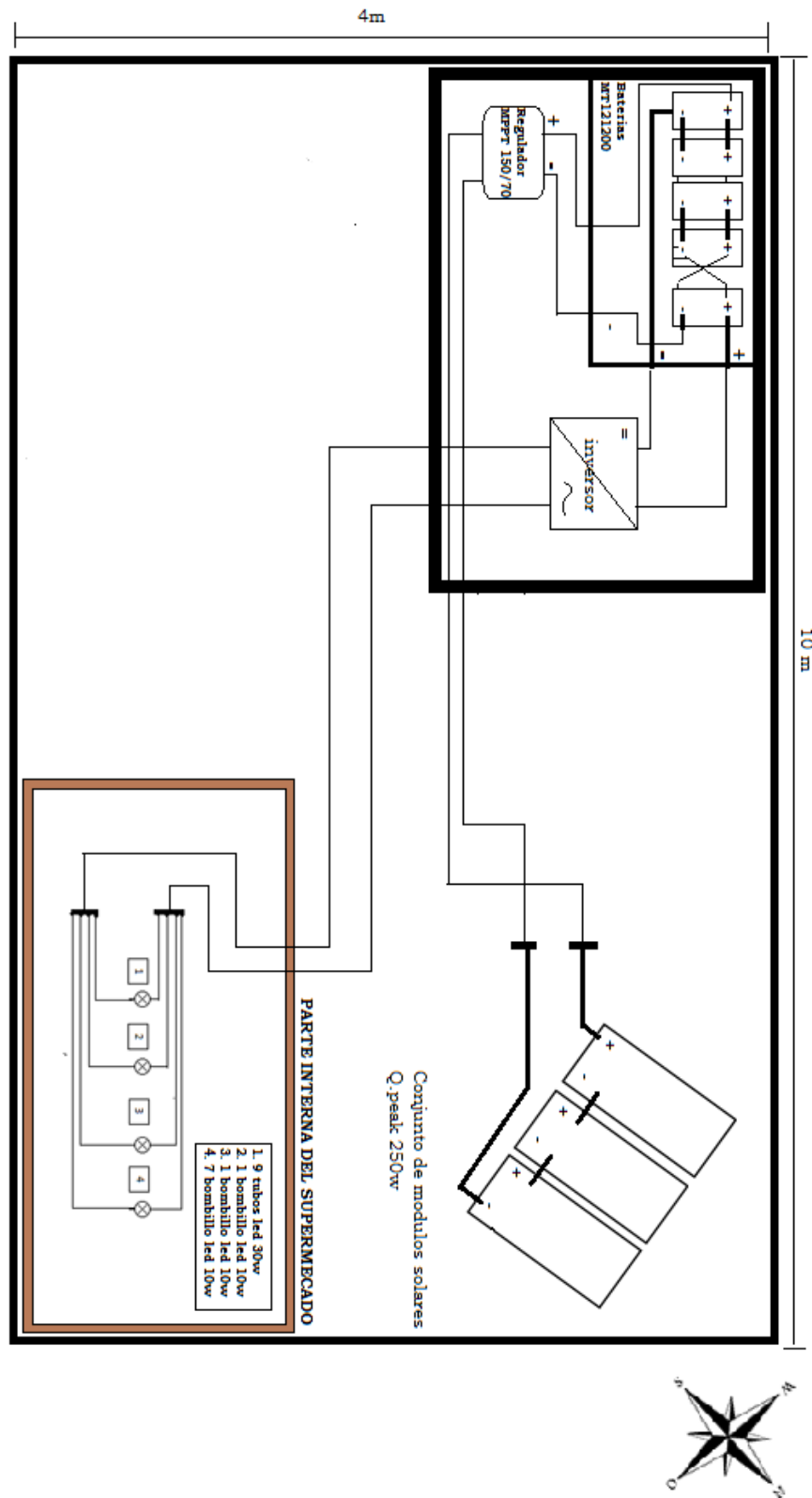


Figura 45. Esquema eléctrico autoservicio SERVIMERCAR.

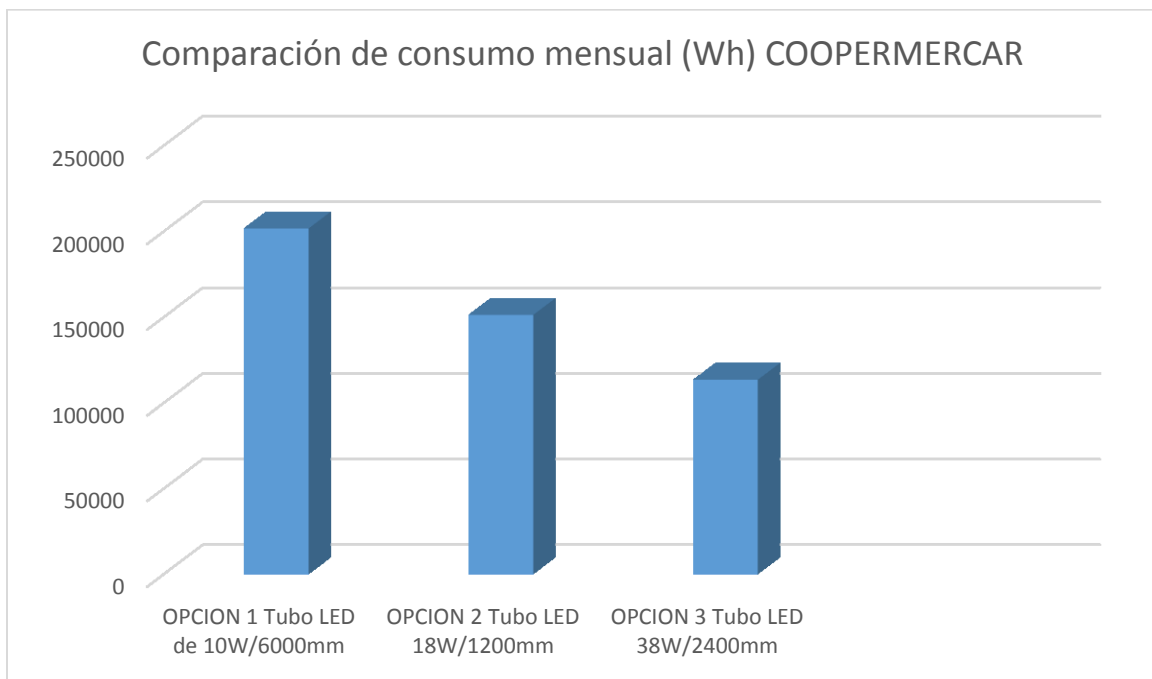
**Nota:** Para el supermercado SERVIMERCAR se determina que se deben usar 3 paneles solares de 250w,5 acumuladores 12v 70<sup>a</sup>, un regulador, un inversor, y demás elementos del sistema, la ubicación de los aparatos del sistema solar fotovoltaico se organizan de tal manera que se pueda aprovechar al máximo el espacio y la eficiencia de los componentes.

#### 4. ANALISIS ECONOMICO

##### Resumen opciones COOPERMERCAR

OPCIONES	N° de bombillos	Consumo diario (Wh/día)	Consumo mensual (Wh)	costo inversion	recuperacion inversion
OPCION 1 Tubo LED de 10W/6000mm	48	6720	201600	\$ 15.521.207,84	6 años
OPCION 2 Tubo LED 18W/1200mm	20	5040	151200	\$ 12.400.207,84	5 años
OPCION 3 Tubo LED 38W/2400mm	9	3780	113400	\$ 10.660.707,84	4 años

Tabla 29. Opciones de bombillo para autoservicio COOPERMERCAR.

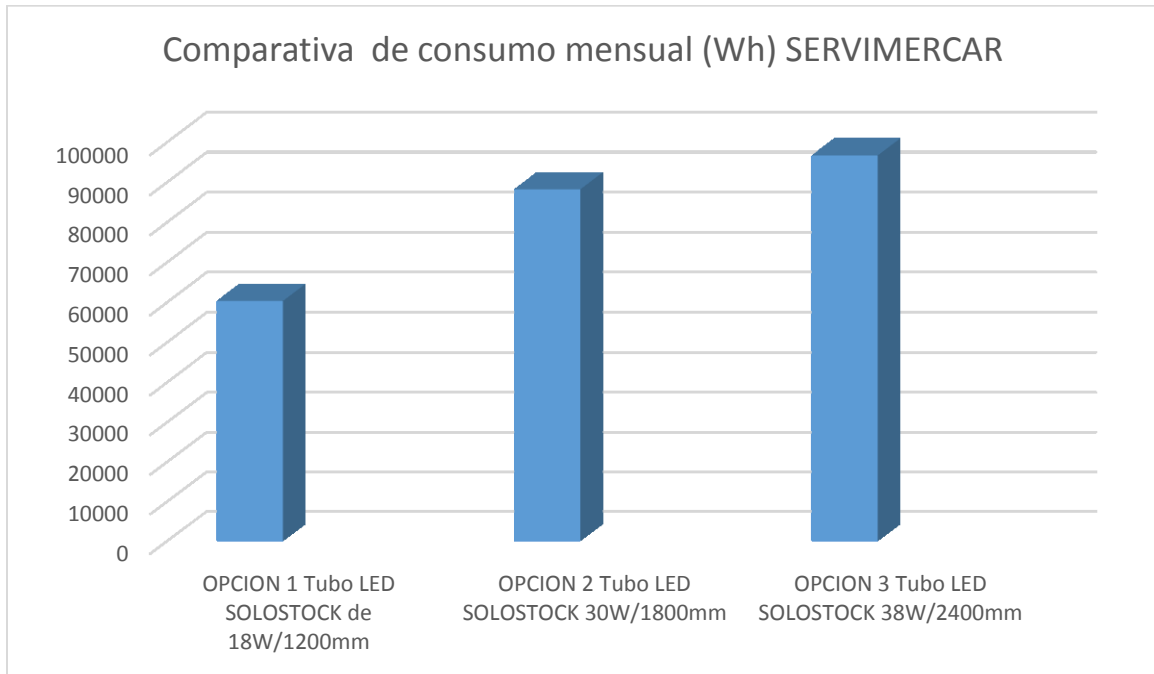


Grafica 1. Comparativa de opciones supermercado COOPERMERCAR.

En la anterior grafica se muestra los consumos de los bombillos de las distintas opciones para el autoservicio COOPERMERCAR.

## Resumen opciones SERVIMERCAR

OPCIONES	N° de bombillos	Consumo diario (Wh/día)	Consumo mensual (Wh)	costo inversión	Recuperacion inversión
OPCION 1 Tubo LED SOLOSTOCK de 18W/1200mm	10	2010	60300	\$5. 273. 607	5 años
OPCION 2 Tubo LED SOLOSTOCK 30W/1800mm	8	2940	88200	\$7. 044. 357	7 años
OPCION 3 Tubo LED SOLOSTOCK 38W/2400mm	6	3222	96660	\$7. 641. 957	8 años



*Grafica 2. Comparativa opciones SERVIMERCAR.*

En la gráfica mostrada anteriormente se puede ver los consumos de las distintas opciones para el almacén SERVIMERCAR.



## ANEXOS

MECHANICAL SPECIFICATION	
<b>Format</b>	1670 mm x 1000 mm x 50 mm (including frame)
<b>Weight</b>	19.8 kg
<b>Front Cover</b>	3.2 mm thermally pre-stressed solar glass
<b>Back Cover</b>	Composite film
<b>Frame</b>	Anodized aluminum
<b>Cell</b>	6 x 10
<b>Junction box</b>	116 mm x 153 mm x 20 mm Protection class IP 68, with bypass diodes
<b>Cable</b>	4 mm <sup>2</sup> Solar cable; (+) 1210 mm, (-) 1210 mm
<b>Connector</b>	Yamaichi Y-SOL4, IP 68

ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS (STC: 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, AM 1.5 G SPECTRUM)						
NOMINAL POWER (+5 / -0 W)	[W]	245	250	255	260	265
Average Power	P <sub>ave</sub> [W]	247.5	252.5	257.5	262.5	267.5
Short Circuit Current	I <sub>sc</sub> [A]	9.01	9.07	9.12	9.17	9.23
Open Circuit Voltage	V <sub>oc</sub> [V]	36.76	37.15	37.54	37.92	38.30
Current at P <sub>ave</sub>	I <sub>ave</sub> [A]	8.33	8.41	8.50	8.58	8.66
Voltage at P <sub>ave</sub>	V <sub>ave</sub> [V]	29.71	30.01	30.31	30.60	30.88
Efficiency (Nominal Power)	η [%]	≥14.7	≥15.0	≥15.3	≥15.6	≥15.9

*Anexo 1. Ficha técnica modulo fotovoltaico Q-PEAK [48].*

## Specifications

Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		100 Ah
Dimension	Length	330mm (12.99inch)
	Width	171mm (6.73inch)
	Height	214mm (8.43inch)
	Total Height	224mm (8.82inch)
Approx. Weight		32kg (70.6lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx.4.5m
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ±3°C (77°F ±5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F ~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		30A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		800A(5 sec.)

*Anexo 2. Ficha técnica batería Mtek (12V100Ah) [48].*

BlueSolar charge controller	MPPT 150/70
Nominal battery voltage	12 / 24 / 36 / 48V Auto Select
Rated charge current	70A @ 40°C (104°F)
Maximum solar array input power	12V: 1000W / 24V: 2000W / 36V: 3000W / 48V: 4000W
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum
Minimum PV voltage	Battery voltage plus 7 Volt to start      Battery voltage plus 2 Volt operating
Standby power consumption	12V: 0,55W / 24V: 0,75W / 36V: 0,90W / 48V: 1,00W
Efficiency at full load	12V: 95% / 24V: 96,5% / 36V: 97% / 48V: 97,5%
Absorption charge	14.4 / 28.8 / 43.2 / 57.6V
Float charge	13.7 / 27.4 / 41.1 / 54.8V
Equalization charge	15.0 / 30.0 / 45 / 60V
Remote battery temperature sensor	Yes
Default temperature compensation setting	-2,7mV/°C per 2V battery cell
Programmable relay	DPST    AC rating: 240VAC/4A    DC rating: 4A up to 35VDC, 1A up to 60VDC
CAN bus communication port	Two RJ45 connectors, NMEA2000 protocol
Operating temperature	-40°C to 60°C with output current derating above 40°C
Cooling	Natural Convection
Humidity (non condensing)	Max. 95%
Terminal size	35mm² / AWG2
Material & color	Aluminium, blue RAL 5012
Protection class	IP20
Weight	4,2 kg
Dimensions (h x w x d)	350 x 160 x 135 mm
Mounting	Vertical wall mount    Indoor only
Safety	EN60335-1
EMC	EN61000-6-1, EN61000-6-3

Anexo 3. Ficha técnica regulador BlueSolar charge controller MPPT 150/70 [48].

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
<b>INVERSOR</b>					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 120V ± 1% / 60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25 °C (VA) (2)	3000				3000
Potencia cont. de salida 25 °C (W)	2500				2500
Potencia cont. de salida 40 °C (W)	2200				2200
Pico de potencia (W)	6000				6000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	93				94
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	15				15
Consumo en vacío en modo AES (W)	10				10
Consumo en vacío modo Search (W)	4				5
<b>GENERAL</b>					
Relé programable (3)	Sí				
Protección (4)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +50 °C (0 - 120°F) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
<b>CARCASA</b>					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP 21				
Conexiones de la batería	2+2 Pernos M8				
Conexiones 230 V CA	Bornes atornillados				
Peso (kg)	18 kg 38 lbs				
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362x258x218 mm 14.3x10.2x8.6 inch				
<b>NORMATIVAS</b>					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Directiva de automoción	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	
1) Puede ajustarse a 60 Hz, y a 240 V. 2) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 3) Relé programable que puede configurarse en alarma general, subtensión de CD o como señal de arranque de un generador (es necesario el interfaz MK2 y el software VEConfigure) Capacidad nominal CA 230V / 4A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35VDC, 1 A hasta 60VDC	4) Protección: a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta f) 230 V CA en la salida del inversor g) Ondulación de la tensión de entrada demasiado alta				

Anexo 4. Ficha técnica inversor Vitron Phoenix [49].

Nominal voltage	12 volts
Capacity	120 ampere hours @20°C, 10 hours rated (cut off voltage 1.80V/cell)
Dimension	L: 409 mm W: 176 mm H: 225 mm TH: 225 mm
Weight approx.	35 kg or 77.2 pounds
Internal resistance	Approx. 4 m Ω
Self-discharge rate	Approx. 3% per month @ 25 degree Celsius
Operation temperature range	Discharged: -15 to 50 degree Celsius (5 to 122 degree F)
	Charging: 5 to 35 degree Celsius (41 to 95 degree F)
	Storage: 0 degree to 40 degree Celsius (32 to 104 degree F)
Floating charge voltage	13.50 to 13.80 volts (-15mv / degree Celsius)
Cyclic charging voltage	14.50 to 14.90 volts (-20mv / degree Celsius)
Maximum charging current	36 ampere (A)
Boost/equalizing charge	Not required
Terminal material	Copper
Container material	General ABS resin

Anexo 5. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V120AH) [48].

### Specifications

Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		70Ah
Dimension	Length	260mm (10.24inch)
	Width	168mm (6.61inch)
	Height	211mm (8.31inch)
	Total Height	233mm (9.17inch)
Approx. Weight		23.0kg (50.7lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx.5.5mΩ
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ±3°C (77°F±5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		21A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		700A(5 sec.)

Anexo 6. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V70AH) [48].

Specifications		
Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		100 Ah
Dimension	Length	330mm (12.99inch)
	Width	171mm (6.73inch)
	Height	214mm (8.43inch)
	Total Height	224mm (8.82inch)
Approx. Weight		32kg (70.6lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx.4.5m
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ±3°C (77°F ±5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F ~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		30A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		800A(5 sec.)

Anexo 7. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V100AH) [48].

	MODEL NO.	PST-150S-12A	PST-150S-24A
OUTPUT	POWER, CONTINUOUS	1500 Watts	1500 Watts
	POWER, SURGE (FOR <1 SEC)	3000 Watts	3000 Watts
	OUTPUT VOLTAGE	120 VAC +/- 3%	120 VAC +/- 3%
	OUTPUT FREQUENCY	60 Hz	60 Hz
	OUTPUT VOLTAGE WAVEFORM	Pure Sine Wave	Pure Sine Wave
	TOTAL HARMONIC DISTORTION	< 3%	< 3%
INPUT	INPUT VOLTAGE	10.7 to 16.5 VDC	21.4 to 33 V DC
	INPUT CURRENT AT NO LOAD	< 1 A	< 0.8 A
	LOW INPUT VOLTAGE WARNING ALARM	10.7 V	21.4 V
	LOW INPUT VOLTAGE SHUT-DOWN	10 V	20 V
	HIGH INPUT VOLTAGE SHUT-DOWN	16.5 V	33 V
	OPERATING AMBIENT TEMPERATURE	0 to 40°C +/- 5°C	0 to 40°C +/- 5°C
	PEAK EFFICIENCY	85%	85%
	COOLING	2 x Temperature Controlled Fans	
	DC INSTALLATION KIT	DC-2000-KIT	
CONNECTIONS	INPUT	Tubular type screwdown terminals	
	OUTPUT	3 x Standard North American Outlet (NEMA 5-15R) with built in GFCI	
	DC SIDE INPUT FUSE	40 A x 5	20 A x 5
	REMOTE	RC-15 (optional)	RC-15 (optional)
GENERAL	DIMENSIONS, MM (L x W x H)	415 x 285 x 100 mm	415 x 285 x 100 mm
	DIMENSIONS, INCHES (L x W x H)	16.3 x 11.1 x 3.9"	16.3 x 11.1 x 3.9"
	WEIGHT, KG	5.7	5.7
	WEIGHT, LB	12.7	12.7

Anexo 8. Ficha técnica inversor PST-150S-12A\_24 [49].

### Specifications

Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		155 Ah
Dimension	Length	485mm (19.09inch)
	Width	172mm (6.77inch)
	Height	240mm (9.45inch)
	Total Height	242mm (9.53inch)
Approx. Weight		46kg (101.4lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx.3.5m Ω
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		45A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		1200A(5 sec.)

Anexo 9. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V155AH) [48].

Specifications		
Nominal Voltage		12 V
Capacity(10HR, 25°C)		100 Ah
Dimension	Length	330mm (12.99inch)
	Width	171mm (6.73inch)
	Height	214mm (8.43inch)
	Total Height	224mm (8.82inch)
Approx. Weight		32kg (70.6lbs)
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx.4.5m
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C ±3°C (77°F ±5°F)
Operating temperature range		-15°C~50°C (5°F ~122°F)
Float charging voltage(25°C)		13.50 to 13.80V
Cyclic charging voltage(25°C)		14.50 to 14.90V
Maximum charging current		30A
Terminal material		Copper
Maximum discharge current		800A(5 sec.)

Anexo 10. Ficha técnica acumulador Mtek121200 (12V100AH) [48].



## 5. CONCLUSIONES

- ✚ Al realizar un análisis de consumo de energía eléctrica y costos, se determinó que el autoservicio COOPERMERCAR consume en iluminación un promedio mensual de 675,57KWh, con un precio de \$222.330,09 pesos m/cte.
- ✚ Al realizar un análisis de consumo de energía eléctrica y costos, se determinó que el autoservicio SERVIMERCAR consume en iluminación un promedio mensual de 252,9 KWh, con un precio de \$83.229,39 pesos m/cte.
- ✚ Al realizar el análisis técnico y económico de energía solar fotovoltaica en iluminación al autoservicio COOPERMERCAR, se determinó una solución para el consumo de energía convencional en iluminación, para lograr reducir costos; al supermercado COOPERMERCAR se fijó la solución 3 , esta consta básicamente de 6 paneles solares, 10 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica en iluminación convencional aproximadamente de \$222.330,09, con una inversión de \$10. 660. 707, lo que indica que en menos de 4 años se recupera la inversión, sacrificando la capacidad lumínica pero manteniendo una iluminación adecuada en el autoservicio, teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor a 20 años. y como se cita en el artículo de la fundación EROSKI, denominado “Instalar paneles solares, ¿es buen momento?”, este artículo consiste en la explicación de porqué instalar paneles solares es más rentable que pagar el recibo convencional.
- ✚ Al realizar el análisis técnico y económico de energía solar fotovoltaica en iluminación a el autoservicio SERVIMERCAR, se determinó una solución para el consumo de energía convencional en iluminación ,para lograr reducir costos; al supermercado SERVIMERCAR se fijó la solución 1 ,consta básicamente de 3 paneles solares, 5 baterías o acumuladores, 1 regulador, 1 inversor y demás componentes. Los cuales generan un ahorro mensual en la factura de energía eléctrica convencional en iluminación aproximadamente de \$83.229,39, con una inversión de \$5. 273. 607, lo que indica que en menos de 5 años se recupera la inversión, sacrificando levemente la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor a 20 años.
- ✚ Se han realizado grandes esfuerzos en encontrar fuentes de energía renovables y auto sostenibles que sustituyan o complementen las que se manejan actualmente, entre las soluciones que se han dado y que ha tenido gran acogida a nivel mundial, se encuentra la utilización de celdas solares que permitan el aprovechamiento de la energía solar; diferentes universidades han diseñado varias propuestas sobre cada una de las etapas que componen un sistema fotovoltaico buscando lograr la mayor eficiencia desde el punto de vista técnico [23].

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] LR 60 AÑOS, «Colombia, un mercado con potencial en energía solar,» BOGOTÁ, 2014.
- [2] EUROPA EU, «PROTOCOLO DE KIOTO,» 11 12 1997. [En línea]. Available: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_es.htm). [Último acceso: 03 02 2014].
- [3] J. M. M. M. Y. R. C. G. ECA Instituto de tecnología y Formación, Energía Solar Fotovoltaica, FC Editorial.
- [4] UPME, «ENERGIAS RENOVABLES TECNOLOGIAS Y SUSOS FINALES,» BOGOTÁ.
- [5] «Tecnología 2013,» [En línea]. Available: <http://theblack-calle.blogspot.com/2013/05/2-central-hidroelectrica-de-chivor.html>. [Último acceso: 15 02 2014].
- [6] WIND ENERGY, [En línea]. Available: <http://www.energiiaeolica.org/>. [Último acceso: 15 02 2014 ].
- [7] «ENERGIAS RENOVABLES,» [En línea]. Available: [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com). [Último acceso: 15 02 2014].
- [8] «ENERXIAS RENOVABLES,» [En línea]. Available: [http://centros.edu.xunta.es/iesaslagoas/webantiga/web\\_eso4\\_07/belen/energiageotermica.html](http://centros.edu.xunta.es/iesaslagoas/webantiga/web_eso4_07/belen/energiageotermica.html). [Último acceso: 16 02 2014].
- [9] «TeCNOLOGÍA INDUTRIAL,» [En línea]. Available: <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/energ3ada-de-la-biomasa.pdf>. [Último acceso: 17 02 2014].
- [10] FEDECOMBUSTIBLES, «PREGUNTAS ACERCA DE LOS BIOCOMBUSTIBLES,» BOGOTÁ.
- [11] ENERGÍA NUCLEAR, «ENERGÍA NUCLEAR,» [En línea]. Available: <http://energia-nuclear.net/>. [Último acceso: 04 03 2013].
- [12] «ENERGÍA NUCLEAR,» [En línea]. Available: [http://energia-nuclear.net/como\\_funciona\\_la\\_energia\\_nuclear.html](http://energia-nuclear.net/como_funciona_la_energia_nuclear.html). [Último acceso: 16 02 2014 ].
- [13] P. D. Maycock, Photovoltaics: Sunlight to electricity in one step, Andover: Brick House Publishing Co., Inc, 1981.

- [14] J. M. M. M. Y. R. C. G. ECA Intituto de tecnología y Formación, ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, FC EDITORIAL.
- [15] SENSSTECH, «SITEMAS OFF-GRID O AISLADOS DE LA RED,» [En línea]. Available: <http://www.sensstech.com/soluciones-y-productos/sistemas-off-grid-o-aislados-de-la-red/>. [Último acceso: 16 02 2014].
- [16] «EnERGIA SOLAR TERMINCA,» [En línea]. Available: <http://www.energiasolartermica.biz/>. [Último acceso: 04 03 2014].
- [17] «SOLAR ENERGY,» [En línea]. Available: <http://www.gstriatum.com/solarenergy/2010/05/passive-solar-energy/>. [Último acceso: 17 02 2014].
- [18] «CIENCIA PARA TODOS,» [En línea]. [Último acceso: 17 02 2014].
- [19] B. S. T. Vásques, Diseño para seguimiento para panel de energia solar fotovoltaico, Bogotá, 2009.
- [20] j. A. R. Vivas, 1.8.2.2 Diseño, cálculo y elaboración de un sistema de energía térmica solar para agua caliente sanitaria con instalación en el edificio de ECCI, Bogotá, 2008.
- [21] j. A. R. Vivas, 1.8.2.2 Diseño, cálculo y elaboración de un sistema de energía térmica solar para agua caliente sanitaria con instalación en el edificio de ECCI, Bogota, 2008.
- [22] R. A. Duarte, DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO SOLAR DE 2GDL CON CONTROL MANUAL Y, BOGOTÁ.
- [23] P. S. N. R. DANIEL FELIPE MONTENEGRO CORAL, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA DESDE UN PANEL DE CELDAS SOLARES A UNA RED ELECTRICA RESIDENCIAL, BOGOTÁ, 2012.
- [24] ALTA INGENIERÍA, «ALTA INGENIERÍA,» [En línea]. Available: [http://www.altainingeriaxxi.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=63](http://www.altainingeriaxxi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=63). [Último acceso: 16 03 2014].
- [25] UPME, «Mapa de brillo solar,» Bogotá, 2011.
- [26] Upme, «MAPA BRILLO SOLAR,» BOGOTÁ, 2011.
- [27] Energias RENOVABLES, «SITIOSOLAR.COM,» [En línea]. Available: <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 06 02 2014].
- [28] «SITIO SOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 17 02 2014].
- [29] «SUELO SOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=6209>. [Último acceso: 17 02 2014].

- [30] IDEAM, «RADIACIÓN ESTACIÓN SIERRA MORENA,» BOGOTÁ, 2012.
- [31] LFN Photofotovoltaics, «LFN Photofotovoltaics,» [En línea]. Available: <http://www.lfnphotovoltaics.com/?p=energia-fotovoltaica/tecnologias>. [Último acceso: 22 12 2013].
- [32] PORTAL DE ENERGIAS RENOVABLES, «SITIOSOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 16 02 2014].
- [33] «ECOLOGIBLOG,» [En línea]. Available: <http://www.ecologiablog.com/post/77/fotovoltaica-de-capa-fina-potencialmente-barata-pero-con-riesgos>. [Último acceso: 16 02 2013].
- [34] SoLINOVA, «ENERGÍA SOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.solinova.es/fotovoltaica.html>. [Último acceso: 18 02 2014].
- [35] «Scientists discover how to generate solar power in the darkness,» 21 04 2014.
- [36] P. S. Nangare, "3P (Printed Paper Photovoltaic) Technology," shijavi university, 2011.
- [37] C. DIFUSION, «SOLAR CHARGE CONTROLLER,» [En línea]. Available: <http://www.capaenergy.com/fr/regulateur-solaire/145-controlleur-de-charge-solaire-30a-45a-48v-.html>. [Último acceso: 18 02 2014].
- [38] «jvmunoz,» [En línea]. Available: <http://www.jvmunoz.info/descargas/docencia/archivos/acumuladores%20de%20energia%20FV.pdf>. [Último acceso: 18 02 2014].
- [39] WEER, «LA WEB DE LAS ENERGÍA RENOVABLES,» [En línea]. Available: <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/construir-panel-fotovoltaico-parte-2/>. [Último acceso: 07 03 2014].
- [40] SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, «CONOCIENDO LA LOCALIDAD DE SAN CRISTOBAL,» BOGOTÁ, 2009.
- [41] «MAPA INTERACTIVO,» [En línea]. Available: <http://www.gosur.com/es/colombia/bogota/bogota-mapa/?weather=1>. [Último acceso: 18 02 2014].
- [42] ENERGICENTRO , «ENERGICENTRO: BATERÍAS Y ENERGÍA,» [En línea]. Available: <http://energicentro.blogspot.com/2010/11/paneles-solares-calculo-de-una.html>. [Último acceso: 03 03 2014].
- [43] FUNDACIÓN UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, ESPAÑA.
- [44] FERROCORTES, «FERROCORTES,» [En línea]. Available: <http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>. [Último acceso: 10 03 2014].

- [45] B. JOHNSTON, MECANICA DE MATERIALES, Macgrow interamericana, 2004.
- [46] IDEAM, «RADIACIÓN MENSUAL AÑOS 2005 A 2012,» BOGOTÁ, 2014.
- [47] FUNDACION IBEROAMERICANA, ENERGIA SOLAR FOTOVOLTICA.
- [48] CARTAGENA SOLAR, «ENERGIAS RENOVABLES,» [En línea]. Available: <http://www.cartagenasolar.net/#!slideshow/c2vd>. [Último acceso: 01 03 2014].
- [49] «VITRON ENERGY,» [En línea]. Available: <http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-3000VA-120V-ES.pdf>. [Último acceso: 05 03 2014].
- [50] C. E. E.-. S. Nuñez, «Climatología,» 2004. [En línea]. Available: [http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/Unidad%2002\\_1.pdf](http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/Unidad%2002_1.pdf). [Último acceso: 14 11 2013].
- [51] W. A. V. LOZADA, DESARROLLO DE MATERIALES FOTOVOLTAICOS USADOS COMO VENTANA OPTICA EN CELDAS SOLARES, BOGOTÁ, 2011.
- [52] u. d. p. m. energetica, «Energías Renovables: descripción, tecnologías y usos finales».
- [53] UPME, «Atlas de radiación Colombia,» 2010. [En línea]. Available: [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf). [Último acceso: 01 12 2013].
- [54] O. F. P. CAICEDO, «PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y,» Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 2010.
- [55] «ALTE STORE,» [En línea]. Available: <http://www.altestore.com/store/Solar-Panels-by-the-Pallet/Suntech-STP270-24Vb-270W-24V-PALLET-QTY-21/p7285/>. [Último acceso: 23 02 2014].
- [56] «SUMSOL,» [En línea]. Available: [http://www.sumsol.es/wp-content/uploads/clearspace/one/2012/12/Catalogo\\_fotovoltica\\_ED1211\\_es.pdf](http://www.sumsol.es/wp-content/uploads/clearspace/one/2012/12/Catalogo_fotovoltica_ED1211_es.pdf). [Último acceso: 01 03 2014].
- [57] OPzV, «ACUMULADORES ESTACIONARIOS,» [En línea]. Available: <http://sumsol.es/wp-content/uploads/pdfs/105-02-acumuladores-estacionarios-fiamm-lm-ed1008.pdf>. [Último acceso: 02 03 2014].
- [58] «ALIBABA,» [En línea]. Available: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/4-panels-solar-pole-mounting-bracket-507254417.html>. [Último acceso: 04 03 2014].
- [59] «Alu stock,» [En línea]. Available: [http://www.alu-stock.es/catalogo/aluskit-solar/aluskit\\_solar\\_index.html](http://www.alu-stock.es/catalogo/aluskit-solar/aluskit_solar_index.html). [Último acceso: 04 03 2014].
- [60] S. Borenstein1, "The Market Value and Cost of Solar Photovoltaic Electricity Production," california, USA, 2008.

[61] C. Torres, «Energicentro: Baterías y energía,» [En línea]. Available: <http://energicentro.blogspot.com/2010/11/paneles-solares-calculo-de-una.html>. [Último acceso: 20 03 2014].